



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

POROVNÁNÍ KLASICKÉHO ALFE VEDENÍ S TECHNOLOGIEMI ACCC

THE COMPARISON OF CLASSIC ALFE LINE WITH ACCC TECHNOLOGIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Róbert Hrachiar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Róbert Hrachiar

ID: 164289

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Porovnání klasického AlFe vedení s technologiemi ACCC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Porovnání mechanických a elektrických vlastností vodičů pro venkovní vedení
2. Odlišnosti při návrhu a výstavbě
3. Ekonomické porovnání výstavby vedení ve variantě AlFe a ACCC při zajištění stejného přenosového výkonu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citácia práce:

HRACHIAR, R. *Porovnání klasického AlFe vedení s technologiemi ACCC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 82 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D..

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Porovnání klasického AlFe vedení s technologiemi ACCC som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č.121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.“

V Brne dňa

Podpis autora

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá porovnaním vedenia s klasicky používanými „AlFe“ lanami (technológia ACSR – aluminium conductor steel reinforced) a vedenia s použitou technológiou ACCC (aluminium conductor composite core). Prvá časť práce popisuje vývoj prenosovej a distribučnej siete na území Českej republiky. Ďalej je to popis jednotlivých typov vodičov, ich konštrukcie a hlavných vlastností. Teoretická časť pozostávala ďalej zo získavania teoretických poznatkov z oblasti vonkajších vedení a porovnávaných typoch vodičov. Počas tvorby teoretickej časti práce sme zbierali skúsenosti s pokročilými funkciami programu Excel, ktoré sú neskôr využívané v praktickej časti. Praktická časť práce pozostáva z vytvorenia samotného výpočtového programu, návodu a metodiky výpočtu. Súčasťou je aj príklad použitia programu, na základe ktorého sú porovnané dva typy vodičov s rovnakým priemerom, rovnakým prenášaným prúdom a rovnakou hmotnosťou na jednotku dĺžky.

KEČOVÉ SLOVÁ: vodiče ACSR, vodiče ACCC, AlFe, vonkajšie vedenie, stožiare, prenos elektrickej energie, Excel, macro

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the comparison of the conduction with the classic "AlFe" ropes (ACSR technology - aluminium conductor steel reinforced) and the line with the ACCC technology (aluminum core composite core). The first part describes the development of the transmission and distribution network in the Czech Republic. Subsequently types of conductors are described, its construction and main characteristics. The theoretical part also consists of theoretical knowledge about compared types of conductors and knowledge from the field of external lines. During the creation of the theoretical part of the thesis, we gained experience in the advanced functions of Excel, which are later used in practical part. The practical part of the thesis consists of creation of the calculation program itself, instructions and calculation methodology. Included is also an example of use of the program that compares two types of conductors of the same diameter, the same transmitted current and the same weight per unit length.

KEY WORDS: ACCC technology, AlFe conductor, ACSR technology, external wires, transmission tower, electric power transmission, Excel, macro

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcej diplomovej práce doc. Ing. Jaroslave Orságovej, Ph.D. za podnetné návrhy k práci, účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc v priebehu vypracovávaní diplomovej práce.

Ďalej ďakujem Ing. Milanovi Mitričovi za odborné pripomienky a cenné rady v priebehu spracovania výpočtov jednotlivých častí tejto práce.

V poslednom rade ďakujem mojej rodine a priateľom za neustálu podporu pri mojom štúdiu.

V Brne dňa

Podpis autora

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	10
1 ÚVOD.....	16
1.1 MOŽNOSTI ZVÝŠENIA PARAMETROV	16
2 CIELE PRÁCE	17
3 CHARAKTERISTIKA HISTORICKÉHO VÝVOJA	18
3.1 SÚČASNOSŤ A VÝHLAD DO BUDÚCNOSTI.....	19
4 VONKAJŠIE VEDENIE	21
4.1 ARMATÚRY	21
4.2 PODPERNÉ BODY	22
4.2.1 OCELOVÉ STOŽIARE	24
4.3 IZOLÁTORY	24
5 VODIČE VONKAJŠÍCH VEDENÍ	26
5.1 VODIČE TYPU ACSR (ALUMINIUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED)	27
5.2 VODIČE TYPU ACCC (ALUMINIUM CONDUCTOR COMPOSITE CORE).....	28
5.3 ĎALŠIE TYPY VODIČOV	29
6 POSUDZOVANÉ STAVY VEDENIA	30
6.1 NOVÉ VEDENIE.....	30
6.2 VÝMENA VODIČOV	31
7 ROZDIELY SPOJENÉ SO ZAVEDENÍM VODIČOV ACCC	33
7.1 OPTIMALIZÁCIA NAMÁHANIA ZÁVESNÝCH BODOV	33
7.2 MINIMÁLNE VZDIALENOSTI VODIČOV	34
7.3 TEPLOTA.....	34
7.4 ÚDRŽBA A MONTÁŽ.....	35
7.5 REFERENČNÉ ZAŤAŽENIE NÁMRAZOU.....	35
8 POPIS VYTVORENEJ APLIKÁCIE.....	37
8.1 ÚVOD.....	37
8.2 VÝBER VODIČA ACSR	38
8.3 VÝBER VODIČA ACCC.....	38
8.4 DEFINÍCIA VEDENIA.....	39
8.5 DODATOČNÉ ZAŤAŽENIE	40
8.6 POSÚDENIE KOTEVNÉHO ROZPÄTIA	42
8.7 VÝPOČET MECHANICKÝCH PARAMETROV	43
8.8 VÝPOČET ELEKTRICKÝCH PARAMETROV	44
8.9 POSÚDENIE EKONOMICKÝCH ROZDIELOV.....	44
8.10 ZHRNUTIE	45

9 METODIKA VÝPOČTU	46
9.1 DEFINÍCIA VEDENIA.....	46
9.2 DODATOČNÉ ZAŤAŽENIE	46
9.3 POSÚDENIE KOTEVNÉHO ROZPÄTIA	52
9.4 VÝPOČET MECHANICKÝCH PARAMETROV	57
9.5 VÝPOČET ELEKTRICKÝCH PARAMETROV	62
9.6 POSÚDENIE EKONOMICKÝCH PARAMETROV	67
10 PRÍKLAD POUŽITIA PROGRAMU.....	68
10.1 POROVNANIE VODIČOV ROVNAKÉHO PRIEMERU	68
10.2 POROVNANIE VODIČOV PODOBNÉHO PRÚDOVÉHO ZAŤAŽENIA	73
10.3 POROVNANIE VODIČOV PODOBNEJ VÁHY	76
11 ZÁVER.....	78
11.1 ZISTENIA.....	78
11.2 VYLEPŠENIA A INÉ VYUŽITIE APLIKÁCIE	79
POUŽITÁ LITERATÚRA.....	80
ZOZNAM PRÍLOH.....	82

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obrázok 4-1 Najpoužívanější typy stožiarov pre vedenie NN, VN, VVN [11].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázok 5-1 Prierez vodiča ACSR 184-AL1/30-ST1A.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázok 5-2 Prierez vodičom ACCC [18]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 8-1 Úvodná obrazovka skriptu v programe Excel</i>	<i>37</i>
<i>Obrázok 8-2 Okno výberu vodiča ACSR k porovnaniu.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázok 8-3 Definícia vedenia</i>	<i>39</i>
<i>Obrázok 8-4 Prípád zmeny stožiaru a automatická úprava konfigurácie.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázok 8-5 Hodnoty dĺžky a výšky kotevného rozpätia.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázok 8-6 Hodnoty vzdialenosti vodičov od seba – príklad.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázok 8-7 Časť upresnenia parametrov pre zaťaženie vetrom.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázok 8-8 Ľavé hodnoty vodiča ACSR a pravé vodiča ACCC</i>	<i>41</i>
<i>Obrázok 8-9 Hodnoty posúdenia maximálneho rozpätia.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázok 8-10 Horná časť okna s výsledkami mechanického zaťaženia</i>	<i>43</i>
<i>Obrázok 8-11 Rozloženie položiek výmeny vodičov a nového vedenia.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázok 9-1 Vzorový výpočet pre jednotkové zaťaženie vetrom</i>	<i>49</i>
<i>Obrázok 9-2 Vzorový výpočet pre jednotkové zaťaženie námrazou</i>	<i>50</i>
<i>Obrázok 9-3 Vzorový výpočet predošlých vzťahov z programu</i>	<i>52</i>
<i>Obrázok 9-4 Vzorový výpočet posúdenia kotevného rozpätia.....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázok 9-5 Pomocná tabuľka pre vykreslenie grafov.....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázok 9-6 Grafické rozloženie hodnôt a označenie</i>	<i>57</i>
<i>Obrázok 9-7 Vzorový výpočet mechanických parametrov</i>	<i>62</i>
<i>Obrázok 9-8 Vzorový výpočet odporu vodiča.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázok 9-9 Vzorový výpočet indukčnosti</i>	<i>63</i>
<i>Obrázok 9-10 Vzorový výpočet kapacít.....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázok 9-11 Výpočet prenosových parametrov.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázok 10-1 Jednodriekový stožiar</i>	<i>68</i>
<i>Obrázok 10-2 Výšky závesných bodov pre porovnanie vodičov.....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázok 10-3 Vzdialenosti vodičov na stožiaroch</i>	<i>68</i>
<i>Obrázok 10-4 Zobrazenie rozloženia rozpätí v kotevnom úseku pre ACSR.....</i>	<i>69</i>
<i>Obrázok 10-5 Zobrazenie rozloženia rozpätí v kotevnom úseku pre ACCC.....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázok 10-6 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli pri rozdielnych dĺžkach rozpätia.....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázok 10-7 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli pri rovnakých dĺžkach rozpätia.....</i>	<i>71</i>

<i>Obrázok 10-8 Hodnoty rezistancie vodiča zadaných parametrov.....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázok 10-9 Hodnoty indukčnosti vodiča zadaných parametrov.....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázok 10-10 Hodnoty kapacít vodiča zadaných parametrov</i>	<i>72</i>
<i>Obrázok 10-11 Porovnanie pomerových cien varianty ACSR a ACCC pri novom vedení.....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázok 10-12 Porovnanie pomerových cien varianty ACSR a ACCC pri výmene vodičov.....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázok 10-13 Zvolený stožiar pre porovnanie</i>	<i>73</i>
<i>Obrázok 10-14 Zadané výšky závesných bodov vodičov.....</i>	<i>74</i>
<i>Obrázok 10-15 Rozmery medzi jednotlivými vodičmi na podpernom bode</i>	<i>74</i>
<i>Obrázok 10-16 Zobrazenie rozpätí v kotevnom úseku vodiča ACSR.....</i>	<i>74</i>
<i>Obrázok 10-17 Zobrazenie rozpätí v kotevnom úseku vodiča ACCC.....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázok 10-18 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli.....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázok 10-19 Hodnoty odporu dvoch vodičov s podobným prúdovým zaťažením.....</i>	<i>76</i>
<i>Obrázok 10-20 Hodnoty kapacít dvoch vodičov s podobným prúdovým zaťažením</i>	<i>76</i>
<i>Obrázok 10-21 Porovnanie ekonomických parametrov.....</i>	<i>76</i>
<i>Obrázok 10-22 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli.....</i>	<i>77</i>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky

ACSR	aluminium core steel reinforced
ACCC	aluminium conductor composite core
AlFe	lano s hliníkovým obalom a oceľovým jadrom
ČR	Česká republika
ČEPS	Česká elektrizačná prenosová sústava
ČEZ	
E.ON	
PRE	Pražská energetika
a.s.	akciová spoločnosť
VVN	veľmi vysoké napätie
VN	vysoké napätie
NN	nízke napätie
ČSN	československá štátna norma
EN	európska norma
PNE	podniková norma energetiky
AL/ST	označenie vodiča
ACCR	aluminium conductor composite reinforced
AAC	all aluminium conductor
AAAC	all aluminium alloy conductor
ACAR	aluminium conductor alloy reinforced
ACSS	aluminium conductor steel supported
TACIR	thermal resistant aluminium conductor invar steel reinforced
USA	spojené štáty americké

Veľičiny

f_m	[m]	maximálny priehyb
c	[m]	parameter reťazovky
a	[m]	dĺžka rozpätia
σ_H	[MPa]	horizontálne namáhanie vo vodiči
γ	[N/m ³]	merná tiaž vodiča
z	[-]	pomerné zaťaženie

z_k	[-]	pomerné kombinované zaťaženie
g_1	[N/m]	tiaž vodiča na jednotku dĺžky
q_{wc}	[N/m]	jednotkové zaťaženie vetrom.

Veličiny – definícia vedenia

h_r	[m]	referenčná výška fázových vodičov
h_{hr}	[m]	výška vodičov horného radu na stožiar od terénu
h_{sr}	[m]	výška vodičov stredného radu na stožiar od terénu
h_{dr}	[m]	výška vodičov dolného radu na stožiar od terénu
h_{iz}	[m]	dĺžka izolátorového závesu
n_{fv}	[ks]	počet kusov fázových vodičov

Veličiny – dodatočné zaťaženie

V_h	[m/s]	stredná rýchlosť vetra
$V_{b,0}$	[m/s]	základná rýchlosť vetra
c_{dir}	[-]	súčiniteľ smeru vetra
c_o	[-]	súčiniteľ orografie
k_r	[-]	súčiniteľ terénu
h_r	[m]	referenčná výška vodičov
z_0	[-]	parameter drsnosti terénu
q_h	[N/m ²]	stredný tlak vetra
ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu
I_v	[-]	intenzita turbulencie
q_p	[N/m ²]	maximálny tlak vetra
L	[m]	mierka dĺžky turbulencie
B^2	[-]	súčiniteľ odozvy pozadia
a_{ku}	[m]	dĺžka kotevného rozpätia
G_C	[-]	súčiniteľ konštrukcie
q_{wc}	[N/m]	jednotkové zaťaženie vetrom
C_C	[-]	súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča
d	[m]	priemer vodiča
Δ	[°]	uhol nábehu smerom kolmo k rozpätiu
I_R	[N/m]	referenčné zaťaženie námrazou

K_h	[-]	súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou
I_k	[N/m]	charakteristické zaťaženie námrazou
I_d	[N/m]	navrhované zaťaženie námrazou
γ_I	[-]	koeficient spoľahlivosti určený z tabuľkových hodnôt.
V_{IL}	[m/s]	stredná rýchlosť vetra pri námraze
q_{Ih}	[N/m ²]	stredný tlak vetra pri námraze
q_{Ip}	[N/m ²]	maximálny tlak vetra pri námraze
D	[m]	ekvivalentný priemer vodiča
ρ_I	[kg/m ³]	hustota námrazy
q_{IWc}	[N/m]	jednotkové zaťaženie vetrom na omrznutý vodič

Veličiny – posúdenie kotevného rozpätia

c	[m]	parameter reťazovky
σ_H	[MPa]	horizontálne namáhanie vo vodiči
γ	[N/m ³]	merná tiaž vodiča
a_{max}	[m]	volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdiely
h_{roz}	[m]	výška terénu v mieste podperného bodu
h_{ku}	[m]	výška terénu v kotevnom úseku
a_{ku}	[m]	dĺžka kotevného rozpätia
a_i	[m]	ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí
f_{mi}	[m]	maximálny ideálny priehyb
x_a	[m]	rozmer od vyššie položeného podperného bodu k miestu maximálneho priehybu
h_{ter}	[m]	výška terénu v mieste bodu x_a
x	[m]	dovolený maximálny priehyb vzhľadom k najnižšiemu bodu na nižšie položenom stožiar v rozpätí
h_{sto}	[m]	výška kotvenia najnižšieho vodiča na stožiar od Zeme
f_{mit}	[m]	maximálny ideálny priehyb teoretický
a_p	[m]	hodnota na vodorovnej osi grafu a značí vzdialenosť v rozpätí
a	[m]	hodnota dĺžky jedného rozpätia v kotevnom úseku pri uvažovanom zaťažení.
p_p	[m]	hodnota na zvislej osi grafu a značí výšku priehybu v danom bode na vodorovnej osi
p_r	[-]	poradie poľa

a_{1p40} [m] hodnota dĺžky rozpätia prvého poľa v 40% jeho celkovej dĺžky

Veličiny – výpočet mechanických parametrov

a_i	[m]	ideálne rozpätie
a	[m]	rozpätie
c	[m]	parameter reťazovky
h	[m]	rozdiel výšky v rozpätí
l_{si}	[m]	dĺžka vodiča pri ideálnom rozpätí
f_{mi}	[m]	maximálny ideálny priehyb
f_{ch}	[m]	charakteristický priehyb
f_v	[m]	viditeľný priehyb
l_s	[m]	dĺžka vodiča
T_{krit}	[°C]	kritická teplota
σ_H	[MPa]	horizontálne namáhanie vo vodiči
α	[1/K]	teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti
E	[MPa]	modul pružnosti
z_n	[-]	pomerná hodnota zaťaženia námrazou
σ_v	[MPa]	vertikálne namáhanie vo vodiči
σ_{vA}	[MPa]	vertikálna zložka namáhania v bode A
σ_{vB}	[MPa]	vertikálna zložka namáhania v bode B
σ_A	[MPa]	výsledná zložka namáhania v bode A
σ_B	[MPa]	výsledná zložka namáhania v bode B

Veličiny – výpočet elektrických parametrov

R_{20}	[Ω]	odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri 20°C
R_{20L}	[Ω/km]	odpor vodiča na jednotku dĺžky pri 20°C
l_s	[km]	dĺžka vodiča v kilometroch.
R_{-30}	[Ω]	odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri -30°C
α	[°C ⁻¹]	teplotný súčiniteľ odporu.
d_{str}	[m]	stredná vzdialenosť vodičov
L_L	[H/km]	indukčnosť vodiča na jednotku dĺžky
r	[m]	polomer vodiča
μ_r	[H/km]	relatívna permeabilita

L	[H]	menovitá indukčnosť vodiča
ε_r	[F/m]	relatívna permitivita
ε_0	[F/m]	permitivita vákua
h_k	[m]	stredná výška vodičov
d_{km}'	[m]	stredná vzdialenosť vodiča k jeho obrazu
d_{km}	[m]	stredná vzdialenosť medzi vodičmi
β	[-]	koeficient
β_v	[-]	koeficient
α	[-]	vlastný potenciálový koeficient
α_v	[-]	vzájomný potenciálový koeficient
C_v	[F]	vzájomná kapacita
C_0	[F]	kapacita voči Zemi
C_p	[F]	prevádzková kapacita
R_K	[Ω]	menovitý odpor vedenia
X_K	[Ω]	induktívna reaktancia vedenia
f	[Hz]	frekvencia
G_K	[S]	konduktancia vedenia
B_K	[S]	kapacitná susceptancia vedenia
Z_K	[Ω]	pozdlžna impedancia vedenia
Y_K	[S]	priečna admitancia vedenia

1 ÚVOD

Prenosové a distribučné sústavy a celkovo väčšina elektrickej infraštruktúry v našej oblasti bola postavená v 50. – 60. rokoch minulého storočia. Z tohto dôvodu budeme v blízkej budúcnosti čeliť problémom s prevádzkou a nevyhnutnej inovácii. Existuje viacero dôvodov, prečo bude potrebné zvážiť kroky, ktorými sa budú tieto sústavy uberať [1].

Prvým dôvodom je vek týchto zariadení a hlavne samotného vedenia, ktoré v mnohých prípadoch presahuje 50 rokov a blíži sa ku koncu svojho prevádzkyschopného obdobia. Na rad prichádzajú rekonštrukcie alebo výstavba nových vedení. Proces odsúhlasovania výstavby nových vedení je v súčasnom období veľmi zdĺhavý a náročný, a preto sa volí vo väčšine prípadov využitie súčasných trás, v ktorých dochádza k posilňovaniu prenosových schopností vedení ako rekonštrukcia existujúcich komponentov alebo výmena niektorých častí väčších celkov.

Ďalšími dôvodmi pre potreby inovácií v oblasti prenosových a distribučných sietí sú požiadavky, ktoré sú kladené na prevádzku. V dnešnej dobe sa čoraz viac dbá na kvalitu dodávky elektrickej energie, no na druhej strane je samotná sieť zaťažovaná oveľa väčšími nárokmi na prevádzku ako to bolo v dobe jej samotného projektovania a výstavby. Potreba zvyšovania kapacity existujúcej infraštruktúry teda nalieha na mimoriadne požiadavky týkajúce sa stratégií budúceho využitia.

Dlhodobá výkonnosť prenosových a distribučných vedení závisí od jednotlivých prvkov, ktoré fungujú v rámci výkonnostných noriem. Kľúčovým cieľom pre vlastníkov a prevádzkovateľov vedení je včasná obnova prvkov v čase, kedy tieto aspekty začnú pracovať mimo štandardov z dôvodu veku, stavu, spoľahlivosti, výkonu, bezpečnosti, hospodárskej efektívnosti, legislatívnych požiadaviek a ďalších. Tento proces inovácií je obzvlášť dôležitý pre vedenia, keďže sa skladajú z rôznych prvkov, ktoré majú rôznu dĺžku životnosti [1].

1.1 Možnosti zvýšenia parametrov

V súčasnej dobe sa ponúkajú tri typy navýšenia parametrov prenosových a distribučných sústav, ktorými sú modernizácia, navýšenie prevádzkyschopnosti a rekonštrukcia [1]. Tieto tri typy ponúkaných možností inovácií sa líšia rôznymi prístupmi, kedy sa zohľadňujú technické požiadavky na jednotlivé vedenia a cena. Náklady na prevádzku alebo investičné náklady hrajú dôležitú rolu v procese posudzovania výhodnosti využitia nových technológií alebo inovácií. Často sú s vylepšenými technickými vlastnosťami protichodné a je dôležité hľadať východiská v podobe kompromisov.

Ďalšími možnosťami, ktoré je potrebné posúdiť je výstavba nových vedení. Je dôležité porovnať možnosti rekonštrukcie s využitím súčasných prvkov a náklady na výstavbu, prípadne prevádzku nových vedení s vylepšenými vlastnosťami. Tieto pohľady otvárajú ďalšie možnosti posúdenia.

Bude dôležité nájsť vhodné riešenia, kedy dokážeme povedať, ktorý variant je najvýhodnejší. V tejto práci sa budeme primárne zaoberať vodičmi typu ACCC a ich využitím či už v nových alebo súčasných vedeniach.

2 CIELE PRÁCE

Cieľom diplomovej práce bude porovnať vedenie s klasicky používanými AlFe lanami (vedenie ACSR – aluminium core steel reinforced) a vedenie s použitou technológiou ACCC (aluminium conductor composite core). Ďalším cieľom diplomovej práce bude vytvoriť ucelený prehľad o výhodnosti jednotlivých typov vodičov s ohľadom na ich technické a ekonomické parametre.

Porovnanie týchto technológií v diplomovej práci zaručí dostatočný prehľad o možnostiach využitia v určitých lokalitách, kde sú kladené vysoké požiadavky na zaťažiteľnosť vedenia. Rovnako tak bude práca porovnávať rôzne možnosti inovácií, ktoré prichádzajú do úvahy ako napríklad výstavba nového vedenia alebo rekonštrukcia súčasného vedenia.

3 CHARAKTERISTIKA HISTORICKÉHO VÝVOJA

Za začiatok elektrifikácie v Českej republike sa dá považovať koniec 19. storočia kedy sa vybudovalo elektrické osvetlenie v niektorých závodoch. Následne začali vznikať verejné elektrárne na jednosmerný prúd. Z dôvodu nízkej účinnosti prenosu jednosmerného napätia vznikali ďalšie zdroje elektrickej energie blízko veľkých miest v miestach najvyššej spotreby.

Prelom v prenose elektrickej energie prišiel okolo roku 1885, kedy sa vynájdením indukčného striedavého stroja a transformátora pre široké komerčné využitie otvorili nové možnosti. Tieto objavy zapríčinili vznik trojfázovej sústavy, ktorá bola pre prenos výkonu efektívnejšia, a tak sa striedavý prúd začal postupom času využívať viac ako jednosmerný.

Prvá verejná elektráreň v Českej republike bola postavená v roku 1889 v Prahe na Žižkove na jednosmerný prúd. Príchodom 20. storočia vznikali jednosmerné aj striedavé elektrárne s rôznymi hodnotami napätia a frekvencie.

Prvá väčšia zmienka o vedení prišla spustením elektrárne v Oslavanech. Boli postavené dve vedenia s napäťovou úrovňou 44 kV, ktorými sa prenášala vyrobená energia do Brna [2].

Po vzniku Československa v roku 1919 bol vydaný zákon o štátnej podpore pri elektrifikácii a na základe tohto zákona vzniklo 20 elektrárenských spoločností s väčšinovým podielom štátu. Bola zavedená trojfázová sústava s frekvenciou 50 Hz a napäťovou úrovňou pri diaľkových sieťach 100 kV, cezpoľných sieťach 22 kV a miestnych sieťach s hodnotou 3 x 220/380 V. Tieto spoločnosti postavili v 20. rokoch 20. storočia približne 500 km vedenia ročne. V 30. rokoch minulého storočia sa naplno rozbehla výstavba vedení 100 kV a boli dokončené viaceré projekty po celom území Československa.

V priebehu vojny sa zničilo viacero úsekov vedení, a tak po jej skončení začala rekonštrukcia zničených sietí a pracovalo sa na vytvorení prenosovej sústavy a prepojenia celého štátu. V tej dobe bolo v celej krajine 6 neprepojených oblastí, z ktorých najväčšia bola Praha. Po vypracovaní štúdií sa zistilo, že prepojenie napäťovou úrovňou 100 kV nebude dostatočné, keďže pri výstavbe uhoľných elektrární na severe krajiny bolo potrebné výkon preniesť na juh s deficitom výkonu. Prvá fáza výstavby úseku 220 kV vedenia bola zo severných Čiech na južnú Moravu a ďalej na Slovensko. V ďalšej fáze sa predpokladalo paralelné vedenie zo západu na východ s pokračovaním na Slovensko [2].

Celoštátna prepojená sieť však vyžadovala dispečing, a tak vzniklo oblastné pracovisko pre Čechy v Prahe, pre Moravu v Ostrave a pre Slovensko v Žiline. Ostravský systém sa v roku 1949 prepojil s Moravským a rovnako na Slovensku vznikla ucelená sieť, čím sa vytvoril Moravskoslovenský systém.

V roku 1951 bolo sprevádzkované prvé vedenie s napäťovou hladinou 220 kV. Toto vedenie dodávalo energiu z elektrární v okolí Mostu do oblastí východných Čiech. Odtiaľ výstavba pokračovala smerom do Brna do rozvodni Sokolnice. Následne sa budovali ďalšie vedenia pre cezhraničné prepojenie so Slovenskom a následné prepojenie s Maďarskom, zmyslom ktorého bol export vyrobenej elektrickej energie do Maďarska.

Následne bol moravskoslovenský a český systém podľa [2] prepojený dvoma vedeniami 100 kV. Prepojením českého a moravskoslovenského systému vznikol jeden celok, v ktorom sa však objavili problémy, ktoré dovtedy nebolo potrebné riešiť. Išlo o prevádzkové problémy so stabilitou, veľkosťou skratových prúdov a reguláciou napätia a frekvencie. Dochádzalo k rozpadu

uceleného systému spôsobenému poruchami na niektorých linkách. V tejto dobe došlo aj k prechodu zo 100 kV na napäťovú úroveň 110 kV, no to sa obišlo bez väčších úprav.

V roku 1957 bola uvedená do prevádzky rozvodňa 220 kV Sokolnice. Vznikla tak otvorená cesta pre vznik magistály s napäťovou hladinou 220 kV z Výškova cez Sokolnice až na Slovensko v celkovej dĺžke 573 km. Pokračovalo sa prepojením elektrárne Orlik a cezhraničným prepojením s Poľskom a Rakúskom a taktiež s východným Nemeckom.

Z dôvodu výstavby elektrární Pruněrov, Počerady a Tušimice a nárastu spotreby na Slovensku bola začatá výstavba dvoch trás s napäťovou hladinou 400 kV vedenia zo severných Čiech severnou linkou cez celé územie Slovenska až do vtedajšieho Sovietskeho zväzu a južnou linkou do rozvodne Sokolnice a neskôr taktiež na Slovensko.

V Prahe v roku 1962 vznikla Centrálna dispečerská organizácia, ktorá bola riadiacim orgánom prepojenej energetickej sústavy Mier. O rok neskôr bola táto sústava prepojená so sústavou Sovietskeho zväzu s napäťovou úrovňou 400 kV prepojením medzi Lemešanami na východnom Slovensku a ukrajinským Mukačevom. Neskôr sa do sústavy Mier pridali ešte Rumunsko a Bulharsko.

Koncom 60. rokov sa ukončila výstavba sietí s napäťovou úrovňou 220 kV a budovali sa ďalej už len siete s napäťovou úrovňou 400 kV. Po vybudovaní základnej siete v Československu sa ďalej budujú prepojenia s okolitými štátmi ako Maďarsko, Poľsko a východné Nemecko. Sieť 110 kV prebrala úlohu distribučnej siete.

3.1 Súčasnosť a výhľad do budúcnosti

V súčasnosti je v Českej republike vybudovaná ucelená ako prenosová tak aj distribučná sieť. Prevádzkovateľom prenosovej sústavy je ČEPS, a.s. (Česká elektrizačná prenosová sústava, a.s.), distribučné sústavy prevádzkujú PRE, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., a E.ON Distribuce, a.s.

Aktuálna mapa prenosovej siete Českej republiky ako aj mapa distribučnej siete v pôsobnosti prevádzkovateľa ČEZ Distribuce, a.s., ako zadávateľa témy tejto práce je dostupná v zdrojoch [3] a [4].

Časť distribučnej siete, ktorú prevádzkuje ČEZ Distribuce, a.s. je najväčšou na celom území Českej republiky. Obhospodarované územie predstavuje 52 697 km² s počtom odberateľov 3 517 304. Prevádzkuje vedenie v celkovej dĺžke viac ako 150 000 km, z toho 9 570 na úrovni VVN, 50 141 km na úrovni VN a viac ako 90 000 km NN [5][6].

Približne dve tretiny všetkých vedení hlavne na úrovniach VVN a VN sú konštruované ako vonkajšie vedenia. A rovnako tak veľká časť z nich je tvorená vodičmi typu ACSR (AlFe). Je niekoľko úsekov vedení, ktoré sú v súčasnom stave na pokraji svojich technických možností alebo sú z dôvodu veku zariadení na konci svojej životnosti. Technológie popisované v tejto práci by priniesli nové možnosti obnovenia a navýšenia vlastností vedení.

Na viacero úsekov, ktoré by sa mali v budúcnosti rekonštruovať z dôvodu nedostatku prenosovej kapacity a prúdovej zaťažiteľnosti mohlo aplikovať riešenie vysokoteplotných a vysokokapacitných vodičov ACCC, prípadne iných typov s podobnými vlastnosťami.

Je však dôležité zistiť výhody získané použitím nových technológií z pohľadu investora, pretože rozdiely v investíciách sú značné. Rovnako prichádza do úvahy výstavba nových trás vedení, kedy by bolo možné získať výhody v podobe lepších technických vlastností vodičov jednotných prierezov.

Zo spomínaných dôvodov musíme popísať a porovnať jednotlivé typy vodičov a celkovo vedenia z viacerých hľadísk. Prvým popisovaným pohľadom je rekonštrukcia súčasného vedenia s využitím niektorých konštrukcií a súčasných častí vedenia. Ďalším posudzovaným pohľadom je výstavba nového vedenia, kedy sú potrebné vyššie investičné náklady a dlhšia doba posudzovania výhodnosti investícií a projekcie. Pri použití nových technológií vodičov náklady na prevádzku úzko súvisia aj s rozdielnymi použitými armatúrami a iným rozdielnym príslušenstvom od klasicky používaných vodičov, čo pridáva ďalšie komplikácie s ohľadom na prevádzku, opravu a revíziu jednotlivých častí vedenia.

Z pohľadu technických vlastností bude rovnako dôležité vyhodnotiť posudzované typy vodičov a vedení z mechanického a elektrického hľadiska. Cena hrá dôležitú rolu pre investorov, no veľkú úlohu zohrá fakt, aký výsledok prinesú zvýšené náklady. V lepšom prípade je možné aj napriek vyšším investičným nákladom využiť vodiče napríklad typu ACCC, no musíme poznať výsledky a rozdiely v porovnaní s klasicky používanými vodičmi typu ACSR.

4 VONKAJŠIE VEDENIE

Vonkajšie vedenia sú technologické zariadenia prenášajúce elektrický výkon požadovaných parametrov z miest výroby alebo premeny na určité miesta ako napríklad do rozvodní nižšej napäťovej úrovne alebo k spotrebiteľom v prípade distribučnej siete. Vonkajšie vedenia by mali byť prevádzkované hospodárne, spoľahlivo, bezpečne a s ohľadom na životné prostredie [7].

Základnými prvkami vonkajšieho vedenia sú podperné body alebo stožiare, armatúry, izolačné prvky a vodiče. Ďalšími súčasťami sú tiež odpojovacie prvky, ochranné zariadenia, uzemnenie a ďalšie.

Vodiče alebo laná sú okrem výstavby podperných bodov z ekonomického pohľadu jednou z najnákladnejších položiek pri výstavbe vonkajších vedení odhliadnúc od majetkových vyrovnaní pri výkupe pozemkov. Jednotlivé typy vodičov, ktoré budeme v tejto práci porovnávať podrobne rozoberieme v nasledujúcich kapitolách.

4.1 Armatúry

Armatúry pre vonkajšie vedenia sa delia na dve základné skupiny a to na armatúry pre vodiče, čiže prúdové spojenia a pre izolátorové závesy, ktoré predstavujú bezprúdové spojenia. Armatúry pre vodiče sa používajú na spojenie, upevnenie, udržiavanie predpísanej vzdialenosti, tlmenie vibrácií a na ochranu poškodených častí. Armatúry pre izolátorové závesy sú určené pre spojenie alebo ochranu a kotvenie izolátorov. Ďalšie skupiny armatúr môžeme popísať ako ochranné a spájacie armatúry.

Povrch týchto komponentov nemôže mať ostré hrany z dôvodu rušenia vysokofrekvenčných prenosov, trhliny a iné poškodenie. Konštrukčné diely musia byť zhotovené z ocele alebo liatiny. Diely armatúr pre prúdové spoje musia byť vyrobené z rovnakého materiálu ako daný vodič s vyhovujúcimi fyzikálnymi vlastnosťami s ohľadom na prenášaný prúd a na pôsobenie elektrochemických vplyvov vodiča a armatúry. Prechodový odpor armatúr musí byť menší ako prechodový odpor daného vodiča a rovnako tak musia mať menšie oteplenie ako vodič maximálneho prierezu, na ktorý sú určené.

Pre bezprúdové spoje sa môžu použiť polyméry alebo plasty s ohľadom na mechanické požiadavky. Tieto armatúry sa montujú priamo na neizolované vodiče a musia odolať preklznutiu vodiča v armatúre alebo pretrhnutie jednotlivých drôtov lana. Povrchy armatúr zo železných kovov je nutné chrániť patričnou ochranou proti korózii [8].

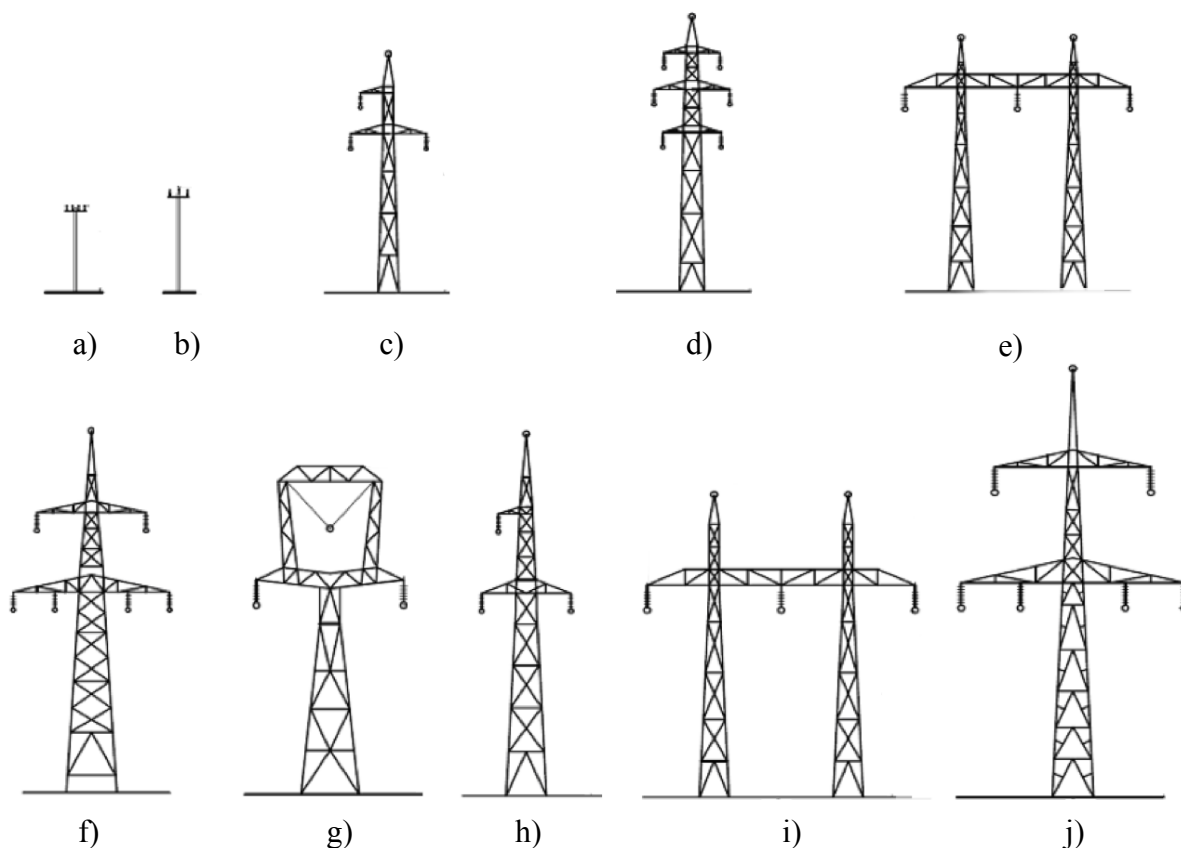
Všetky armatúry musia byť podľa spôsobu použitia dimenzované na mechanické alebo elektrické požiadavky pri prúdových spojeniach. Armatúry pre vodiče typu ACCC sa od tých pre vodiče typu ACSR líšia hlavne v systéme uchytenia vodičov. Keďže vodiče ACCC svojim tvarom pripomínajú takmer jednoliaty povrch s minimom vzduchových medzier, je dôležité, aby pri ich kotvení nedošlo k porušeniu tohto povrchu, čo by mohlo viesť k nepriaznivým javom ovplyvňujúcim prenosové vlastnosti vodiča. Konkrétne typy armatúr pre vodiče typu ACCC je možné nájsť v príslušných inštalčných manuáloch partnerov výrobcu týchto vodičov, ktorí tieto armatúry pre vodiče ACCC vyrábajú [9].

4.2 Podperné body

Podperné body alebo stožiare sa pre vodiče typu ACCC oproti ACSR v podstate nemusia líšiť ak budú zachované všetky mechanické požiadavky namáhania na tieto podperné body. Stožiare používané pre vonkajšie vedenia sa rozdeľujú na niekoľko častí [8]:

- a) základ
- b) driek
- c) hlava
- d) most
- e) priečky
- f) konzoly
- g) vzpery
- h) kotvenie

Stožiare sú nosnou konštrukciou vonkajších vedení. Ich výška závisí od viacerých parametrov ako je napät'ová hladina, usporiadanie vodičov, dĺžky izolátorových reťazcov, priehybu vodičov a od dĺžky zemného lana. Vodiče sú kotvené na stožiaroch vodorovne, zvisle alebo kombinovane. Podperné body môžeme rozdeliť ešte na nosné alebo kotevné, ktoré sa môžu líšiť rozdielnou konštrukciou alebo kotevnými prvkami. Jednotlivé podperné body sú normalizované, na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť používané konštrukcie, ktoré sú v Českej republike najčastejšie využívané. Okrem týchto existuje ešte nespočetné množstvo modifikácií, ktoré môžu byť napríklad vzhľadom prispôsobené okolitej krajine. Tvary týchto stožiarov sa však vo väčšine prípadov viažu ku konkrétnej aplikácii.



Obrázok 4-1 Najpoužívannejšie typy stožiarov pre vedenie NN, VN, VVN [11]

Popis obrázku 4-1 podľa označenia:

- a) vedenie NN
- b) vedenie 22 kV (prípadne 35 kV)
- c) jednoduché vedenie 110 kV (jednodriekový stožiar)
- d) dvojité vedenie 110 kV (Súdok)
- e) jednoduché vedenie 220 kV (Portál)
- f) dvojité vedenie 220 kV (Donau)
- g) jednoduché vedenie 400 kV (Mačka)
- h) jednoduché vedenie 220 kV (jednodriekový stožiar)
- i) jednoduché vedenie 400 kV (Portál)
- j) dvojité vedenie 400 kV (Donau)

Portálové stožiare a kotevné stožiare typu V sa v súčasnej dobe projektujú v minimálnom množstve alebo vôbec. Dôvodom je veľký záber pôdy pod týmito stožiarimi kvôli veľkému rozpätiu napínaných lán v okolí podperného bodu.

Maximálne dovolené rozpätie medzi stožiarimi je závislé od viacerých parametrov ako námrazová oblasť, teplota okolia, typ konzoly, typ vodiča, napäťová úroveň. Ďalšími parametrami môže byť typ vodiča alebo sklon terénu.

Podrobné delenie stožiarov podľa účelu použitia [10]:

- a) nosné
- b) rohové
- c) výstužné
- d) rohové výstužné
- e) odbočné
- f) odbočné výstužné
- g) koncové
- h) rozvodné
- i) križovatkové
- j) križovatkové výstužné
- k) križovatkové rohové výstužné

Kompletné požiadavky pre projektovanie stožiarov a ich podrobné rozdelenie s popisom jednotlivých parametrov je možné nájsť v norme podľa zdroja [10].

Podperné body používané v energetike sa konštruujú ako drevené, betónové alebo ocelové. Drevené stožiare sa v dnešnej dobe používajú väčšinou v neprípustnom teréne, kde je problém s prístupom väčších mechanizmov, kde by sa v obyčajnom prípade použili stožiare betónové alebo priehradové.

Betónové stožiare sa vo veľkej miere vyrábajú ako duté z predpätého betónu s ocelovou konštrukciou. Železobetónové stožiare majú niekoľko výhod oproti dreveným. Hlavnou je dlhšia životnosť, keďže odolávajú škodcom a vlhkosti. Nevýhodami sú vyššie požiadavky na dopravu a mechanizmy pri inštalácii. Rovnako ako drevené tak aj betónové podperné body sa využívajú hlavne na napäťových úrovniach NN a VN.

Detailnejšie sa zameriame na ocelové stožiare, ktoré budú využité aj v ďalšom priebehu porovnania vodičov typu ACSR a ACCC.

4.2.1 Oceľové stožiare

Oceľové priehradové stožiare sa inštalujú pri väčších požiadavkách na výšku vedenia alebo pri vyšších napäťových hladinách. Výhodami týchto stožiarov je hlavne pomerne jednoduchá montáž aj pri vysokých stožiaroch, ľahká manipulácia a doprava, keďže oceľové stožiare sa dajú prevážať v menších kusoch. Tieto stožiare sa musia chrániť pred koróziou rôznymi nátermi alebo povrchovou úpravou. Použitie nehrdzavejúcich ocelí je pre vysokú cenu nerentabilné.

V malom množstve sa používajú aj stožiare z profilovej valcovanej ocele alebo z bezšvových valcovaných rúrok, prípadne hranené. Tieto stožiare sú jednoduché s malými základmi, prípadne len s betónovými pätkami, no okrem použitia napríklad pre účely trakčného vedenia pre železničnú, trolejbusovú alebo električkovú dopravu sa nepoužívajú. Pár príkladov použitia je aj v distribučnej sústave, kedy bolo potrebné napríklad minimalizovať záber pôdy alebo to bolo z dôvodu urbanistického riešenia v mestských zástavbách.

Inak sa ale stožiare pre elektrické vedenie vo väčšine prípadov konštruujú ako priehradové štvorboké konštrukcie z ostro hranného valcovaného materiálu, najčastejšie z uholníkov. Prevládajú drieky s postupným rozširovaním smerom k základom. Tieto postupne sa rozširujúce stožiare majú väčšinou jeden základ pre všetky štyri nárožníky. Pri väčších stožiaroch sa stožiare zvyknú prudšie lomiť, prípadne rozkročiť pre lepšiu stabilitu. V tomto prípade pôsobia na základy menšie namáhania a tie sa zvyknú konštruovať zvlášť pre každý nárožník [11].

Rozmery montážnych dielcov sa pohybujú v rozsahu až do niekoľkých metrov s ohľadom na dopravné a montážne možnosti. Styky sú skrutkované prípadne zvarané. Výplňové prúty sú zásadne z jednoduchých uholníkov z dôvodu zníženia hmotnosti stožiaru [11].

Priehradové stožiare sú rôzne tvarmi a rozmermi s ohľadom na miestne podmienky a terén. Líšia sa aj uložením vodičov a ďalšími parametrami ako výškou, rozpätím vodičov, typom ukotvenia atď. Najviac používané typy boli zobrazené na obrázku 4-1.

4.3 Izolátory

Izolátory slúžia na mechanické uchytenie vodičov na kotevných bodoch vedenia a rovnako slúžia na dodržanie dostatočnej vzdialenosti medzi vodičom a stožiarom. Podľa účelu použitia na vonkajších vedeniach sa používajú najčastejšie izolátory kotevné alebo závesné. Izolátory sa vyrábajú z viacerých materiálov, ide o keramické alebo kompozitné materiály, ale ešte stále sa na niektorých vedeniach nasadzujú aj sklenené izolátory.

Sklenené izolátory sa začali nasadzovať už v polovici minulého storočia. Hlavným dôvodom bola jednoduchá obsluha a dobré izolačné vlastnosti [12]. V súčasnosti je na trhu niekoľko výrobcov, ktorí ponúkajú spoľahlivé kotevné sklenené izolátory hlavne pre nízke napäťové hladiny, no občasné je aj použitie na hladine VVN. Oproti keramickým izolátorom majú nižšiu mechanickú odolnosť, no jednoduchší proces výroby.

Keramické alebo tiež porcelánové izolátory sa vyznačujú dobrou mechanickou odolnosťou materiálu so stálym tvarom, dobrými dielektrickými vlastnosťami a odolnosťou voči korózii, teplu a chemickým látkam. Vypálený porcelán je glazúrovaný vrstvou na báze skla, ktorá ho chráni pred vlhkosťou a mechanickým poškodením. Keramické izolátory sa vyznačujú bezproblémovou ekologickou likvidáciou oproti kompozitným izolátorom.

Kompozitné izolátory sa skladajú z jadra zo sklenených vlákien alebo polyméru, ktorým sa jednotlivé typy podľa použitého materiálu líšia. Striešky a plášť izolátora sú zo silikónovej pryže.

Tieto izolátory sa vyznačujú vysokou odolnosťou proti mechanickým rázom, nízkou hmotnosťou, ktorá je oproti keramickým izolátorom asi 10 %, jednoduchšou manipuláciou ako pri doprave tak aj pri montáži.

Pre rozdielne typy vodičov ACSR a ACCC môžeme predpokladať využitie rovnakých typov izolátorov ak budú dodržané všetky mechanické a elektrické požiadavky. Rozdiel môže nastať v lisovaných armatúrach na izolátoroch, ktoré môžu byť problémom, na ktorý je treba brať ohľad.

5 VODIČE VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Hlavným cieľom tejto práce je porovnanie vedení s vodičmi ACSR (aluminium core steel reinforced – vodiče AlFe) a ACCC (aluminium conductor composite core). Preto sa v tejto kapitole budeme venovať prioritne týmto dvom typom vodičov no v praxi sa niekedy javia z dôvodu vyhovujúcejších vlastností výhodnejšie iné typy vodičov, a preto si okrajovo spomenieme aj ďalšie typy, ktoré sa líšia jednak zložením, prípadne konštrukciou a vlastnosťami.

Z hľadiska funkcie sú vodiče a laná jednou z najdôležitejších častí vedenia. Z ekonomického hľadiska predstavujú vysokú položku dôležitú z pohľadu konečnej ceny celého vedenia. Voľba typu a vlastností vodiča jednak pôsobí na obstarávacie náklady pri výstavbe, kedy sa podľa použitých vodičov volí typ a konštrukcia stožiarov, ale aj na prevádzkové náklady spojené s prípadnými prerušeniami dodávky elektrickej energie pri poruchách, či už mechanických alebo elektrických. Vodiče tvoria rozhodujúcu zložku, ktorá určuje straty, úbytky napätia, ale aj vysokofrekvenčné rušenie [13]. S použitím jednotlivých typov vodičov súvisí taktiež ďalšie špecifické príslušenstvo ako armatúry alebo náradie používané či už na montáž, alebo na prípadný servis a údržbu. Podľa [13] musia vodiče odolávať viacerým vplyvom zároveň (vietor, námraza, teplota, chemická odolnosť), a preto sú na nich kladené vysoké požiadavky, ktoré sú ale často protichodné.

Základnými požiadavkami, na ktoré sa prihliada sú [13]:

- a) malá hmotnosť vodiča z dôvodu jednoduchších podmienok pri inštalácii, no vysoká pri pôsobení prevádzkových vplyvov v súvislosti s vetrom a vychýľovaním vodiča,
- b) veľká mechanická pevnosť a odolnosť vodiča,
- c) malý priemer z hľadiska vplyvu tlaku vetra, ale veľký z dôvodu elektrických vlastností vodiča,
- d) odolnosť voči vibráciám a kmitaniu,
- e) chemická a tepelná odolnosť,
- f) cena.

Pre vonkajšie vedenia sa ako vodiče používajú drôty, laná alebo káble. Z dôvodu najväčšej miery využitia a na základe zadania práce sa zameriame na laná. Hlavne pri vyšších napätových hladinách sa stretávame so zapojením lán do zväzkov. Je to hlavne z dôvodu menších strát korónou, keďže sa prenášaný výkon rozdelí napríklad do troch vodičov menších priemerov. Jednotlivé laná sú od seba oddelené izolačnými rozperkami.

Na vedení sa stretávame s tromi typmi vodičov a to so zemnými lanami, kombinovanými zemnými lanami a fázovými vodičmi, ktoré si rozoberieme v nasledujúcich kapitolách. Zemné laná predstavujú vodiče, ktoré sú uzemnené a slúžia na ochranu vedenia proti blesku, znižujú prepätie vzniknuté elektrostatickými javmi pri údere blesku a znižujú krokové napätie podľa [14]. Zemné laná neprenášajú výkon. Sú umiestnené na najvyššom bode stožiarov a ich počet závisí od typu stožiaru. Konštrukcia zemných lán je totožná s fázovými vodičmi a primárnou požiadavkou zemných lán je vysoká vodivosť. Kombinované zemné laná slúžia okrem vyššie uvedených funkcií na prenos dát a komunikáciu. Podľa [15] sú v jadre lana vedené optické káble, ktorými je zabezpečená komunikácia po vedení ale aj služby internetových a telekomunikačných spoločností. Optické vlákna môžu byť súčasťou aj fázových vodičov, kedy sa týmto spôsobom zbierajú informácie o vodičoch a ich prevádzkových stavoch a zaťažení.

V súčasnosti sa najčastejšie na stožiaroch vyskytujú vodiče s kombináciou oceľovej duše a hliníkového opletenia. Tento typ lán je osvedčený vysokou mierou využitia, znalosťami prevádzkovateľov sietí z dlhodobého použitia a monitorovania údajov a obľúbenosťou z dôvodu mechanických a elektrických vlastností v pomere s cenou. Je však dôležité, aby sme pri zvyšujúcej sa potrebe po elektrickej energii poznali aj možnosti nových technológií s vylepšenými vlastnosťami. Preto budeme v tejto práci porovnávať vodiče typu ACSR a ACCC.

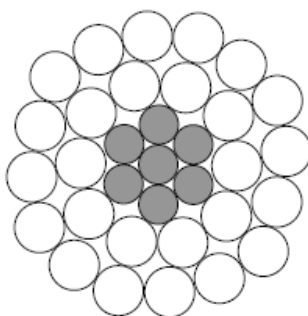
5.1 Vodiče typu ACSR (aluminium conductor steel reinforced)

Ide o lano s oceľovým jadrom a hliníkovým plášťom, ktoré je ekvivalentom u nás vyrábaného a používaného lana so starým označením AlFe (Aluminium + Ferrum). Jednotlivé typy sa vyrábajú v rôznych pomeroch oceli a hliníku a s rôznymi priermi jednotlivých drôtov, čím sa menia ich prenosové vlastnosti a dovolené maximálne elektrické alebo mechanické zaťaženie. Využitie týchto vodičov je široké, používajú sa v ČR na väčšine vonkajších vedení, či už v distribučnej alebo prenosovej sústave.

Spájajú v sebe dobrú vodivosť hliníku a vysokú pevnosť ocele. Zväčšením pomeru ocele dokážeme zvýšiť mechanickú pevnosť a teda môžu byť tieto laná použité pre väčšie rozpätie alebo pre oblasť s veľkým mechanickým namáhaním. Tieto laná sú náchylné na vibrácie a používajú sa rôzne tlmiče vibrácií alebo špirálové tlmiče [13].

Keďže sa vodiče typu ACSR vyrábajú s rôznymi pomermi hliníku a ocele, kde sa líši aj počet hliníkových a oceľových pletencov a drôtov, tak všetky typy lán, ktoré sa používajú v Českej republike, a ktoré budeme v práci porovnávať sa s hodnotami udávanými podnikovou normou energetiky nachádzajú v zdroji [16].

V súčasnosti sa vodiče typu ACSR označujú kódom, ktorý oproti starému označeniu obsahuje aj údaje o kvalite a type materiálu obalu aj jadra vodiča (napr. AL1/ST1), z ktorého je daný vodič vyrobený. Toto značenie nahradilo pôvodné používané značky typu AlFe 185/30, kedy bolo z označenia jasné len o aký vodič ide a s akým pomerom hliníku a oceli je vyrobený. V súčasnosti sa celý názov vodiča skladá z viacerých údajov. Konkrétne značenie vodiča daného typu je 184-AL1/30-ST1A, kde je jasné, že ide o vodič s hliníkovým obalom s akosťou 1 a jadrom z pozinkovaných oceľových drôtov akosti 1 triedy A. Pomer hliníku a oceli tohto vodiča je 6.



Obrázok 5-1 Prierez vodiča ACSR 184-AL1/30-ST1A

Konštrukčne je lano s technológiou ACSR zložené z oceľového jadra, ktoré tvorí nosnú časť lana a udáva mechanické vlastnosti vodiča a odolnosť voči vplyvom ako vietor, námraza a pod. Oceľové jadro tvoria drôty kruhového prierezu zvinuté do pletenca. Hliníkový obal tvorí prúdovú cestu prenášaného výkonu a udáva elektrické parametre vodiča. Hliníkový obal môže byť vinutý

vo viacerých vrstvách vždy protichodne oproti predchádzajúcej vrstve s tým, že vonkajšia vrstva má pravotočivý smer.

Laná s technológiou ACSR sa pre špecifické požiadavky inštalácie vyrábajú aj v ďalších prevedeniach, napríklad s vyššou odolnosťou na mechanické požiadavky alebo s vyššími požiadavkami na prenosové vlastnosti. Všetky tieto odnože klasického vodiča ACSR korešpondujú technologicky s týmto lanom a hlavne pre malé objemy využitia sa na tieto vodiče nebudeme detailnejšie zameriavať. V podstate ide o rovnaké vodiče so špecifickými zmenami, ktoré sú vždy vytvorené na základe požiadaviek investora a konkrétneho projektu. Pre príklad:

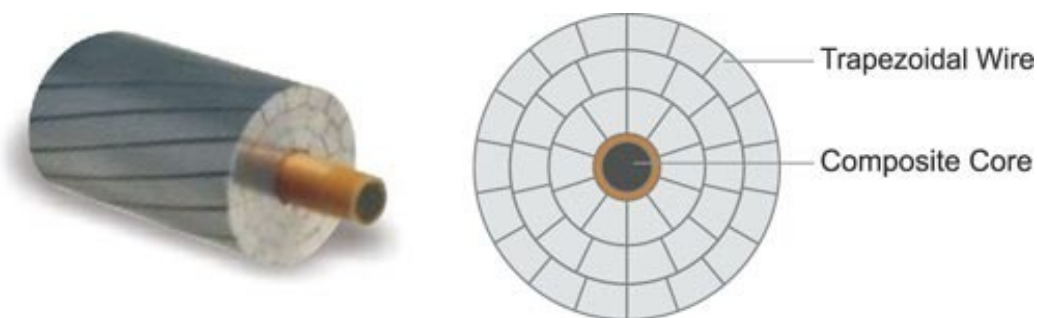
- a) ACSR/AW – líši sa jadrom, ktorého oceľové drôty sú galvanizované hliníkom
- b) ACSR/AE – rozdiel predstavuje zväčšená vzduchová medzera medzi jadrom a obalom
- c) ACSR/SD – vodič s vylepšenými tlmiacimi vlastnosťami
- d) ACSR/T-2 – spletené dva vodiče rovnakého priemeru

5.2 Vodiče typu ACCC (aluminium conductor composite core)

Vodiče typu ACCC sa skladajú, ako už z názvu vyplýva z hliníkového obalu a kompozitného jadra. Konkrétne ide o hliníkový drôt s prímесou zirkónu, ktorý sa však od klasického vodiča ACSR odlišuje okrem materiálu aj tvarom jednotlivých drôtov a celkového poskladania pletenca. Keďže sa používajú tvarované drôty a vzduchové medzery sú eliminované, tým pádom je možné použitie vyššieho množstva hliníku na rovnaký prierez lana. Jedná sa o vysokoteplotný hliník čím je obmedzenie chladenia vplyvom menších vzduchových medzier oproti výhodám prinášaným väčšou prenosovou kapacitou vodiča, väčšou prúdovou zaťažiteľnosťou a nižšími stratami zanedbateľné.

Jadro tvorí spleť uhlíkových vlákien kruhového prierezu obalená skleným vláknom. Toto jadro je podľa [17] o 25 % pevnejšie a o 60 % ľahšie ako oceľové jadro. Tým pádom je možné tieto laná použiť na väčšie rozpätia v porovnaní s ACSR, čo znamená jednak menej stožiarov a vďaka jeho nízkej hmotnosti aj jednoduchšie konštrukcie.

Karbónové vlákno v jadre tvorí jednoliaty celok. Pri vyšších teplotách približne 75°C sa lano chová z mechanického hľadiska ako vodič zložený čisto z karbónu, pretože celé mechanické zaťaženie preberá práve jadro, ktoré tvorí nosnú časť vodiča. Maximálny priehyb tohto typu vodiča je daný práve maximálnym zaťažením námrazou, pretože aj pri kritických teplotách je priehyb nižší ako pri dodatočnom mechanickom namáhaní.



Obrázok 5-2 Prierez vodičom ACCC [18]

Vplyvom nízkej teplotnej rozťažnosti uhlíkových vlákien oproti oceľovému jadru sú výsledné priehyby menšie pri vyšších teplotách ako pri klasických prevádzkových teplotách vodičov ACSR. Laná s technológiou ACCC sú aplikovateľné na všetky napäťové hladiny na základe rôznych vyrábaných prierezov. Pre tieto vodiče je charakteristická obťažnejšia montáž, pretože musia byť

použité rozdielne svorky a celkovo armatúry, a aj z dôvodu, že lano je celkovo tuhšie vplyvom pevnosti uhlíkových vlákien. Tieto vodiče lepšie odolávajú poškodeniam a degradácii vplyvom vibrácií, korózii, ultrafialového žiarenia, chemickej a tepelnej oxidácii [19]. Na druhej strane je však dôležité dbať na kvalitnú montáž týchto vodičov, pretože pri porušení vonkajšej vrstvy obalu dochádza k stratám korónou a prenosové schopnosti vodiča sú tak znížené.

5.3 Ďalšie typy vodičov

ACCR (aluminium conductor composite reinforced) – tento vodič je zložený z obalu tvoreného vysokoteplotným hliníkom s tvarom podobným vodičom ACCC. Môžu byť použité tvarové drôty aj drôty kruhového prierezu. Jadro obsahuje prímеси oxidu hlinitého s polovičnou teplotnou rozťažnosťou oproti obyčajnému hliníku. Nevýhody spojené s montážou sú totožné ako pri vodičoch ACCC spomenuté v kapitole 5.2.

AAC (all aluminium conductor) – lano, ktoré je zložené výlučne z drôtov hliníku a neobsahuje jadro. Prierez vodiča je tvorený jedným materiálom.

AAAC (all aluminium alloy conductor) – vodič, ktorý je rovnako tvorený len jedným materiálom, no ide o zliatiny hliníku, ktoré sú oproti predošlému prípadu lepšie mechanicky odolné.

ACAR (aluminium conductor alloy reinforced) – tento vodič je vo svojej podstate kombináciou vodičov typu AAC a AAAC. Prierez vodiča tvorí hliníkový obal s jadrom zo zliatiny hliníku. V porovnaní s vodičom ACSR vykazuje lepšiu prenosovú schopnosť a mechanickú pevnosť.

ACSS (aluminium conductor steel supported) – tento typ vodiča je tvorený obalom zo žíhaného hliníka a jadrom z vysokopevnostnej ocele. Žíhaný hliník v sebe nesie vylepšené tepelné vlastnosti, a tak je maximálne zaťaženie z pohľadu mechanických vlastností závislé v podstate len na jadre vodiča. Obal tohto vodiča je mäkký, s čím sú spojené komplikácie pri inštalácii. V porovnaní s vodičmi ACSR je tento vodič pri vhodnom priemere ťažší. Použitie vodiča je primárne v USA.

TACIR (thermal resistant aluminium conductor invar steel reinforced) – vodič tvorený jadrom z invarovej oceli, ktoré nie je teplotne obmedzené v pomere s hliníkovým obalom, ktorý tvorí vysokoteplotný hliník a maximálna prevádzková teplota vodiča je daná maximálnou teplotou obalu.

Vyššie spomenuté vodiče sú popísané len stručne a to z dôvodu, že sa im venujeme v tejto práci len okrajovo a zameriavame sa na dva typy vodičov popísaných v kapitolách 5.1 a 5.2.

6 POSUDZOVANÉ STAVY VEDENIA

Z pohľadu investícií by sme mali pre väčšiu presnosť výsledkov porovnania posudzovať viaceré stavy vedenia. My v tejto práci budeme posudzovať dva. Prvým stavom je výstavba nového vedenia a druhým považovaným stavom je rekonštrukcia súčasného vedenia. Pre samotné porovnanie budeme riešiť dva stavy a to vedenie s vodičmi ACSR a ACCC s ohľadom na predošlé kritéria. Rozdiel spočíva hlavne v ekonomickej stránke projektu, kde sa líšia investície pre výstavbu nového vedenia od už postaveného vedenia. Pri rekonštrukcii súčasného vedenia by sa do rozpočtu započítavali len položky, ktorých sa výmena a modernizácia týka, prípadne čiastočná obnova súčasného vybavenia.

Rozhodujúcu zložku pri novom vedení by tvorila projekčná časť, územné vysporiadanie a ďalšie náklady spojené s administratívou a úradnými úkonmi. V tomto prípade by sa príprava výstavby taktiež enormne predĺžila oproti stavu, kedy by došlo len k výmene vodičov a príslušenstva, ktoré je špecifické pre vodiče ACCC. Z ekonomického a časového hľadiska sa javí lepšie zachovanie súčasného stavu a navýšenie parametrov vedenia výmenou vodičov. Keďže v Českej republike je distribučná sústava dostatočne rozvetvená a vo viacerých prípadoch sa možnosti rekonštrukcie ponúkajú ako častejšia forma možnosti využitia vodičov ACCC je dôležité, aby sme túto možnosť posúdili ako samostatnú časť. V niektorých prípadoch však prichádza do úvahy len výstavba nového vedenia, a tak je potrebné rovnako posúdiť aj tento stav.

Navyše pri výmene vodičov budeme brať do úvahy zachovanie podperných bodov, čo znamená rapídne zníženie nákladov. Na druhej strane však budeme v prípade nového vedenia počítať s prípadom rozdielného počtu podperných bodov v kotevnom úseku, ak to situácia dovolí. Rozhodujúcu úlohu zohrajú v tomto prípade samotné vlastnosti zvolených vodičov k porovnaniu ale aj ich dodatočné zaťaženie.

6.1 Nové vedenie

V prípade nového vedenia sa s celkovou cenou spájajú viaceré aspekty. Tie môžeme rozdeliť na prípravné práce a realizáciu projektu. Realizácia projektu pozostáva z terénnych úprav, prípravy základových konštrukcií, montáži stožiarov, montáži izolátorových závesov a armatúr na uchytenie a kotvenie vodičov a samotnú montáž vodičov. V prípade prípravy projektu ide o prípravné práce a vyjadrenie dotknutých orgánov, projekčnú činnosť, územné vysporiadanie a ďalšie podľa rozsahu projektu.

Samotná príprava pozostáva z prípravy dokumentácie pre územné konanie a pre stavebné povolenie, posúdenie zo strany životného prostredia a ďalších dotknutých strán ako telekomunikačných sietí, lesného hospodárstva, dopravnej infraštruktúry v prípade križovania vedenia s dopravnými trasami a ďalšie. V prípade výstavby nového vedenia je jednoduchšie danú stavbu vykonávať na trase, kde vedenie nahrádza súčasné vedenie z dôvodu, že sa tam niektoré časti dokumentácie nemusia znovu odsúhlasovať. Ide o rovnaké dotknuté územia, na ktorých bude stavba zriaďovaná, rovnaké ochranné pásmo, ktoré je prípadne len navýšené. Pri nových stavbách na nových trasách a pozemkoch sa všetky tieto náležitosti musia dodržať. V prípade výstavby vedení je kladená vyššia priorita na tieto stavby ako na občiansku infraštruktúru a tak je mnohokrát možné skrátené konanie v prípade niektorých odsúhlasovacích procesov.

Následne pri realizácii dochádza k viacerým etapám kedy sú prvou časťou výstavby terénne úpravy. Terénne úpravy sa spájajú hlavne s odstránením drevín alebo porastu, odstránením ornice a hĺbením výkopov pre základové konštrukcie v triede horniny príslušného umiestnenia stožiaru.

S tým súvisí odvoz zeminy na dočasnú skládku, paženie jám a následný zásyp jám v rovnakej triede horniny v akej bol vykonaný výkop. Odstránenie paženia a hutnenie zeminy je súčasťou prác súvisiacich so zásypom. V prípade menších stožiarov nižších napät'ových hladín je možná iná príprava terénu v menšom rozsahu, napríklad vykonanie zemných vrtov pre následnú betonáž pätiiek.

Príprava základových konštrukcií a ich cena závisí teda na type stožiaru a na požiadavkách na jeho uchytenie. S touto časťou realizácie vedenia súvisí debnenie základových konštrukcií s následnou inštaláciou výstuže betonárskou oceľou. V prípade väčších základových konštrukcií sa výstuž betonárskou oceľou kombinuje so zvaranými alebo oceľovými sieťami Kari. Pri umiestnení stožiaru v neprístupnom teréne prispieva do ceny základových konštrukcií aj doprava betónu na miesto stavby. Rovnako tak závisí na type betónu a jeho triede. Finálnou časťou realizácie základových konštrukcií pred zásypom výkopovej jamy je odstránenie dočasného debnenia. Všetky položky spomenuté vyššie súvisia s daným konkrétnym projektom, ktoré nie je možné na základe všeobecného pohľadu posúdiť. Preto do porovnávanej ceny variant výstavby nového vedenia s dvomi typmi vodičov budeme započítavať len montážne a materiálóvé položky rozdielne pri dvoch variantách.

Cena montáži stožiarov záleží jednak na doprave na miesto stavby, kedy môžu nastať komplikácie pri neprístupnom teréne napríklad v horských oblastiach, kde je potrebné využiť napríklad dopravu vzduchom a taktiež na druhu konštrukcie. Rozdiel zohráva veľkosť stožiaru, kedy inštalácia predpätého betónového stožiaru NN je jednoduchšia ako napríklad inštalácia priehradového alebo hraneného oceľového stožiaru vyšších napät'ových hladín dosahujúcich väčšie výšky nad povrchom. Konštrukcia stožiarov sa líši aj účelom použitia stožiaru, záleží či ide o stožiar kotevný alebo nosný a taktiež na samotnej cene stožiaru.

Ďalšia časť inštalovaného vedenia, ktorá určuje podstatnú časť celkovej ceny sa týka samotného vodiča a príslušenstva, ktoré súvisí s technológiou použitého vodiča, typom uchytenia, montážou a napínaním. Záleží či ide o jednoduché alebo dvojité vedenie, čím sa navýši počet ťahaných vodičov a spôsob ich naťahovania na stožiare. Počet a typ armatúr sa líši rovnako ako v predošlom prípade na základe typu vedenia a konkrétnom type vodiča, kedy napríklad pre vodič ACCC nie je možné použiť armatúry vodičov ACSR z dôvodu iného spôsobu uchytenia vodiča na stožiari. Ďalej ide o druh a počet uzemňovacích lán, ktoré môžu byť kombinované, čo sa oproti klasickému vodiču premietne v ich cene. Doplnkové práce ako nátery stožiarov, betónových základov, označenie stožiarov výstražnými tabuľkami, očíslovanie a ďalšie dokončovacie práce nehrajú už až takú významnú rolu v konečnej sume nákladov.

6.2 Výmena vodičov

Tento prípad sa od predošlého líši viacerými položkami, ktoré je možné z celého postupu vynechať, čo v konečnom dôsledku znamená značný rozdiel vo výslednej sume. Preto je dôležité, aby sme použitie vodičov dvoch technológií posudzovali zo širšieho uhlu pohľadu, pretože vo finále môže nastať situácia, kedy by sa pre jeden stav mohol javiť ako lepšia voľba pre jeden systém, no pre iný stav by výsledky mohli vyzeráť úplne inak.

Čo sa týka prípravy projektovej dokumentácie a prípravy stavby tak v prípade výmeny vodičov a rekonštrukcie vedenia sa jedná o oveľa menší časový horizont a cenu, ak by došlo len k demontáži niektorých častí vedenia. V projektovej dokumentácii by došlo k minimalizácii potrebných odsúhlasovacích procesov, ktoré by nemuseli byť znova vykonané. Vyjadrenia dotknutých strán by sa mohli zmeniť napríklad pri križovaní s nejakou infraštruktúrou kedy by

museli byť vyhodnotené minimálne vzdialenosti od okolitých objektov alebo by mohla byť potrebná zmena ochranného pásma vedenia.

V konkrétnom prípade nahradenia vodičov ACSR vodičmi ACCC môžeme uvažovať, že vodiče typu ACCC sú z mechanického hľadiska lepšie a teda by mohli byť použité aj na súčasné stožiare. Je však dôležité dodržať maximálne hodnoty namáhania podperných bodov.

Ďalej je potrebná revízia podperných bodov, po ktorej by nasledovala ich úprava napríklad nanesením nového ochranného náteru, ktorý by predĺžil ich životnosť na dobu životnosti nových vodičov. Po demontáži vodičov zo súčasného stavu a montáži izolátorových závesov by nasledovalo natiahovanie lán na stožiare a ich ukotvenie. V prípade výmeny uzemňovacieho lana by sa postup opakoval aj pre tieto laná, kde by sa mohli použiť napríklad kombinované uzemňovacie laná.

Je dôležité, aby sa pred takou rekonštrukciou zohľadnili všetky vplyvy pôsobiace na vodič a na vedenie pomocou meraní, ktoré na súčasnom vedení už môžu byť vykonané. Rozdiely vyplývajú napríklad z výsledkov v lete alebo v zime, kedy na vodič pôsobia iné teploty, ktoré môžu napomáhať chladeniu alebo otepleniu vodičov. Preto je pri týchto rekonštrukciách výhodné, keď pri návrhu nových vodičov vieme presnejšie odhadnúť aké výsledky dosiahneme zvýšenými nákladmi. Väčšie náklady pri výmene vodičov môžu zaručiť lepšie zisky z dlhodobého hľadiska pri zvážení všetkých okolností.

7 ROZDIELY SPOJENÉ SO ZAVEDENÍM VODIČOV ACCC

Nasledujúcimi úvahami s ohľadom na rozdielne parametre vodičov dostaneme okrem číselných výsledkov aj posúdenie rozdielov vodičov z pohľadu jednotlivých situácií, ktoré môžu nastať z rôznych dôvodov vychádzajúcich z rozdielností medzi posudzovanými vodičmi.

Porovnanie dvoch typov vodičov so sebou prináša aj ďalšie spojitosti, ktoré sa nedajú vyjadriť číslami no je potrebné s nimi rátať. S tematikou porovnania vodičov totiž vyplývajú napríklad problémy pri údržbe, problémy pri uvažovaní podmienok pre klasicky používané vodiče a ich implementácia do použitia s vodičmi ACCC. Tieto aj ďalšie aspekty porovnania je možné nájsť v nasledujúcich podkategóriách.

7.1 Optimalizácia namáhania závesných bodov

Namáhania závesných bodov vodičov prinášajú viaceré komplikácie, ktoré súvisia s veľkosťou samotného dodatočného zaťaženia vodiča. Hodnota maximálneho priehybu vodiča znova úzko súvisí s typom zaťaženia vodiča a s veľkosťou tohto zaťaženia, ale aj s teplotou a s tým súvisiacou teplotnou rozťažnosťou. Vychádzame zo vzťahov, ktoré popisujú priehyby vo vodičoch, s ktorými úzko súvisia aj napätia v závesných bodoch.

Celkové odvodenie nasledujúcich vzťahov je možné nájsť v literatúre [20]. Pre zjednodušenie budeme brať do úvahy len výsledné rovnice. Výsledný tvar rovnice maximálneho priehybu vodiča daný reťazovkou je

$$f_m = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - 1 \right) \quad (7.1)$$

kde f_m [m] je maximálny priehyb, c [m] je parameter reťazovky, a [m] je dĺžka rozpätia.

Hodnota maximálneho priehybu teda závisí na dĺžke rozpätia, ktorá je daná nejakým predošlým výpočtom alebo zadáním, a parametrom reťazovky. Práve parameter reťazovky c v sebe zahŕňa hodnotu zaťaženia vodiča vonkajšími vplyvmi. Ďalej je táto veličina závislá ešte na mernej tiaži vodiča a na horizontálnom napätí vo vodiči podľa

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \quad (7.2)$$

kde c [m] je parameter reťazovky, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, γ [N/m³] je merná tiaž vodiča, z [-] je pomerné zaťaženie.

Môžeme teda uvažovať, že pri zmene horizontálneho namáhania vo vodiči, ktoré sa dosiahneme takzvaným predpätím vodiča na kotevných stožiaroch môžeme priamo ovplyvňovať veľkosť maximálneho priehybu vodiča. Horizontálne namáhanie vo vodiči hrá však dôležitú rolu tiež vo vzťahu k mechanickým namáhaniam závesných bodov.

Celkovo ide teda o to, že pri teplotách vodiča, ktoré sa nevymykajú vo veľkej miere normálnemu stavu je hodnota maximálneho priehybu málo premenná aj v prípade použitia vodičov typu ACSR aj ACCC. Ak však ide o vyššie teploty tak dôležitú úlohu zohráva práve tepelná rozťažnosť, ktorá je pri vodiči typu ACCC jednoznačne nižšia. Voľbou hodnoty horizontálneho namáhania vo vodiči teda môžeme docieľiť lepšie hodnoty maximálneho priehybu hlavne v oblasti vysokých prevádzkových teplotách, no je potrebné dbať na dovolené namáhanie podperných bodov, ktoré rovnako tak súvisí s veľkosťou horizontálneho namáhania vo vodiči. Preto sa

využívajú rôzne horizontálne predpätia pri zavesení lán. Aj z tohto dôvodu teda nie je možné hodnotu horizontálneho namáhania vo vodiči brať ako konštantnú pre všetky situácie a typy vodičov, ale je potrebné dbať na miestne podmienky a na hodnoty dané výrobcom vodičov.

7.2 Minimálne vzdialenosti vodičov

Minimálne vzdialenosti vodičov od iných vodičov sú dané normou, rovnako ako aj minimálne vzdialenosti od iných konštrukcií, terénu, infraštruktúry, atď. Tieto minimálne vzdialenosti musia byť dodržané pri použití akýchkoľvek typov vodičov. Pre typ vodičov ACCC však musíme uvažovať rozdielne vlastnosti oproti ACSR. Ide napríklad o rozdielnu váhu vodičov na jednotku dĺžky, kedy vodiče typu ACCC sú v porovnaní s ACSR pri rovnakom priemere ľahšie. Tento fakt teda naznačuje, že pri zaťažení vodičov môže vzniknúť stav, kedy bude toto zaťaženie vonkajšími vplyvmi na takej úrovni, že tieto minimálne vzdialenosti môžu byť pri ignorovaní týchto skutočností prekročené.

Na vzťahu pre výpočet pomerného zaťaženia vetrom môžeme názorne poukázať na rozdiely vyplývajúce z tejto situácie

$$z_v = \sqrt{\frac{g_1^2 + q_{wc}^2}{g_1}} \quad (7.3)$$

kde z_k [-] je pomerné kombinované zaťaženie, g_1 [N/m] je tiaž vodiča na jednotku dĺžky, q_{wc} [N/m] je jednotkové zaťaženie vetrom.

Pomerné zaťaženie vetrom závisí rovnako ako na jednotkovom zaťažení vetrom aj na veľkosti jednotkovej tiaži vodiča, čo je dané zas jeho hmotnosťou na jednotku dĺžky. Je teda zrejmé, že vodiče, ktoré budú na porovnávanú dĺžku rozpätia ľahšie budú mať vyššiu výslednú hodnotu pomerného preťaženia vetrom. Ak to teda zhrnieme laicky, môžeme konštatovať, že ľahšie vodiče daná rýchlosť vetra vychýli viac ako vodiče ťažšie.

Ak by teda došlo k prípadu, že by sa realizovala napríklad výmena vodičov v rozpätí, ktorá je popísaná v kapitole 6.2, môžu nastať komplikácie v prípade zachovania príslušenstva vodičov, ktoré vymedzujú tieto minimálne vzdialenosti napríklad vzhľadom k podpernému bodu. Je preto potrebné vždy uvažovať s touto skutočnosťou, ktorá sa pri normálnom stave nemusí prejaviť, no pri dodatočnom zaťažení znamená značnú komplikáciu.

7.3 Teplota

Teplota je dôležitým parametrom z hľadiska posudzovaných vyhovujúcich stavov vedenia pri jednotlivých úrovniach dodatočného zaťaženia. Vedenie sa podľa súčasne platných noriem posudzuje z nasledujúcich hľadísk [10]:

- a) -30°C
- b) -5°C, vietor
- c) -5°C, kombinácia vetra a námrazy
- d) -5°C, námraza (extrémna námraza)
- e) 40°C

Maximálna teplota okolia sa považuje za 40°C a to z dôvodu dlhodobého sledovania a skúseností. Za maximálnu hodnotu teploty vodiča ACSR pri maximálnom zaťažení môžeme približne považovať 85°C. Pri návrhovom výpočte sa kontroluje maximálny priehyb takzvanou

kritickou teplotou, ktorá udáva, že ak je jej hodnota menšia ako 40°C, tak maximálny priehyb nastáva pri 40°C. Ak je hodnota kritickej teploty väčšia ako 40°C, tak maximálny priehyb nastáva pri -5°C a námraze. Uvádza sa ešte aj hodnota rovná 40°C, ale to je pri pravdepodobnosti dosiahnutia tejto hodnoty a vysvetlení tejto časti bezpredmetné.

Pri uvažovaní vodiča ACSR sa prevádzkové teploty pohybujú približne niekde medzi minimálnou teplotou a pri tom najnepriaznivejšom bezporuchovom stave maximálnou prevádzkovou teplotou vodiča. Keďže maximálna prevádzková teplota vodiča je na úrovni okolo 85°C, uvažovaná hodnota kritickej teploty, ktorá rozhoduje o stave maximálneho priehybu je takmer v polovici rozmedzia.

Pri vodičoch ACCC sa však takmer vždy ocitáme v situácii kedy maximálny priehyb nastáva pri maximálnom dodatočnom zaťažení. Je to dané vysokými maximálnymi prevádzkovými teplotami vodičov, ktoré sa pohybujú na maximálnej úrovni medzi 180°C až 200°C, a ich nízkou teplotnou rozťažnosťou. Z tohto dôvodu teda môžeme konštatovať, že vodiče ACCC obmedzujú len hodnoty dodatočného zaťaženia. Aj pri tom najhoršom možnom scenári maximálnej prevádzkovej teploty nenastane tak nepriaznivá situácia, ktorá by znamenala horšie hodnoty maximálneho priehybu ako pri dodatočnom zaťažení námrazou.

Je nutné si uvedomiť odlišnosti medzi vodičmi typu ACSR a ACCC, a tak aj pristupovať k možným situáciám, ktoré pri používaní vodičov ACSR nebolo nutné uvažovať.

7.4 Údržba a montáž

Pri samotnej prevádzke ale aj pri montáži vodičov je potrebné počítať s rozdielmi v samotnej konštrukcii vodičov. Tým pádom nastanú rozdiely aj v používanom náradí a strojovom vybavení jednak na inštaláciu a tiež na údržbu. Táto problematika pojednáva hlavne o svorkách a armatúrach, ktoré sú odlišné od armatúr používaných pre vodiče ACSR a to z dôvodu, že povrch vodiča ACCC je takmer jednoliaty a vzduchové medzery medzi jednotlivými drôťmi sú minimálne. Narušenie tejto obvodovej vonkajšej vrstvy vodiča môže mať za následok nepriaznivý vplyv javov ako koróna, prehrievanie daného miesta a podobne.

Pri údržbových prácach v priebehu prevádzky by bolo potrebné, aby boli jednotky, ktoré by vykonávali údržbu na vodičoch ACCC vybavené náradím, strojným zabezpečením a hlavne znalosťami o rozdielnych typoch vodičov a to v sebe nesie ďalšie náklady spojené s implementáciou novej technológie do praxe, ktoré však nesúvisia s projektovou dokumentáciou jednotlivých vedení a v rozpočte výmeny vodičov alebo výstavby nového vedenia nie sú započítané.

Bolo by potrebné v tomto prípade buď zriadiť čaty, ktoré by boli vysielané len k vedeniam s vodičmi typu ACCC alebo prípade doplniť existujúce jednotky vybavením. Išlo by aj o to kde by takéto vedenia boli umiestnené, či by boli roztrúsené po území veľkej rozlohy alebo či by išlo o niekoľko sústredených úsekov.

7.5 Referenčné zaťaženie námrazou

Pri určovaní referenčného zaťaženia námrazou sa vychádza zo stanovených rovníc, ktoré nám dajú výslednú hodnotu referenčného zaťaženia námrazou podľa priemeru voleného vodiča. Jednotlivé rovnice sú rozdielne pre rôzne námrazové oblasti. Ide o výsledok dlhodobého pozorovania a implementácie praktických znalostí chovania vodičov v prostredí s výskytom námrazy.

Vodiče typu ACCC sa však konštrukčne líšia od vodičov ACSR, a tak je dôležité brať ohľad aj na skutočnosť zachytávania sa jednotlivých kryštalických častí námrazy na povrchu vodiča. V prípade vodiča typu ACCC bude pravdepodobne oveľa obťažnejšie toto uchytanie čiastočiek námrazy, keďže povrch vodiča tvorí takmer jednoliaty celok. Ak si prierez vodičmi porovnáme, na vodiči typu ACSR sú vzduchové medzery väčšie a povrch viac zvlnený, a tým pádom predpokladáme jednoduchšie zachytávanie týchto častí námrazy na povrchu.

Aj z tohto dôvodu by bolo nutné do budúca zvážiť úpravu alebo určenie rovníc aj pre tieto typy vodičov, prípadne zaviesť koeficienty na úpravu týchto hodnôt referenčného zaťaženia.

8 POPIS VYTVORENEJ APLIKÁCIE

Vzhľadom na zložitosť posúdenia výhodnosti a samotného porovnania dvoch typov vodičov sme vytvorili kompletný výpočet, na základe ktorého bude možné zhodnotiť jednotlivé časti či už technických alebo ekonomických aspektov. Tým dostaneme ucelený prehľad o vhodnosti a výhodnosti implementácie nových technológií do užšie definovaného projektu.

Výpočtový skript na posúdenie výhodnosti využitia vodičov technológií ACSR a ACCC bol vytvorený v tabuľkovom procesore Excel z balíka Office od spoločnosti Microsoft. Hlavným dôvodom pre voľbu tohto softvéru je jeho užívateľská dostupnosť, znalosť a široké uplatnenie. Celý skript je rozdelený do niekoľkých častí, ktoré sú rozdelené podľa podkategórií nižšie. Pri manipulácii s programom je dôležité poznať všetky jeho zákutia a postupovať podľa krokov popísaných v podkategóriách. Program je určený pre ľudí so znalosťou v oblasti vonkajších vedení a ich výpočtu z dôvodu potreby zadávania niektorých veličín. Je dôležité pre správnu funkciu použitých makier v programe spúšťať skript v Exceli 2017.

8.1 Úvod

Táto zložka tvorí úvod do programu, ktorý privíta každého užívateľa pri prvom zapnutí aplikácie. Aktuálna verzia skriptu je v.12. Všetky ostatné verzie alebo verzie, ktoré boli užívateľmi upravené sa nemusia s týmto návodom zhodovať. Na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť vzhľad úvodnej obrazovky, kde je potrebné si ešte pred začatím výpočtu overiť aktuálnu verziu programu.



Obrázok 8-1 Úvodná obrazovka skriptu v programe Excel

Pohyb po jednotlivých krokoch programu je zabezpečený prepnutím medzi kartami v dolnej časti obrazovky. Karta „Úvod“ je prvou medzi všetkými kartami programu. Pre pokračovanie klikneme na kartu s názvom „Výber ACSR“ čím pristúpime k ďalšiemu kroku, ktorý je popísaný v nasledujúcom odstavci.

8.2 Výber vodiča ACSR

V tomto kroku si vyberieme prvý vodič k porovnaniu, ktorým bude vodič s technológiou ACSR, teda vodič „AlFe“. Výber je možný z vodičov, ktoré sú zobrazené v červenej oblasti prostredníctvom tlačidiel možností, kedy si môžeme vybrať práve jeden vodič tohto typu. Po kliknutí na jedno z tlačidiel možností prislúchajúce vždy danému riadku v tabuľke sa tento vodič aj s jeho parametrami načíta do zelenej časti okna kde si môžeme overiť hodnoty vybrané k porovnaniu a názov vodiča. Hodnoty v jednotlivých oknách neprepisujeme. Tieto hodnoty boli prevzaté z aktuálne platnej normy podnikovej normy energetiky s názvom „Holé vodiče pre vonkajšie vedenie zo sústredene zlanených kruhových drôtov“ [16].

Výber vodiča ACSR									
Zvolený vodič									
243-AL1/39-ST1A	0,0218	0,000373	0,0002431	0,988	0,1188	0,0000189	85120	74200	490
Názov	Priemer [m]	Prierez celkový [m ²]	Prierez AL [m ²]	Hmotnosť na 1 m dĺžky [kg/m]	Menovitý odpor pri 20 °C [Ω/km]	Teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti [1/K]	Menovitá pevnosť [N]	Modul pružnosti [MPa]	Prúdová zapažiteľnosť [A]
24-AL1/4-ST1A	0,0067	0,0000355	0,0000236	0,09546	1,212	0,0000186	8870	79000	104
37-AL1/6-ST1A	0,0084	0,0000554	0,0000369	0,1492	0,7757	0,0000186	13300	79000	140
42-AL1/7-ST1A	0,0090	0,0000636	0,0000424	0,1712	0,6757	0,0000186	15270	79000	150
47-AL1/8-ST1A	0,0095	0,0000701	0,0000468	0,1888	0,6129	0,0000186	16290	79000	165
66-AL1/11-ST1A	0,0114	0,0001021	0,0000662	0,267	0,4365	0,0000189	24850	74200	191
72-AL1/11-ST1A	0,0120	0,0001131	0,0000717	0,2822	0,4028	0,0000191	25870	72600	208
92-AL1/16-ST1A	0,0136	0,0001448	0,0000918	0,3777	0,3147	0,0000187	35110	74200	223
100-AL1/25-ST1A	0,0146	0,0001674	0,0001000	0,4696	0,2891	0,0000177	46910	81800	281
110-AL1/22-ST1A	0,0150	0,0001758	0,0001103	0,4769	0,2618	0,0000183	45590	77400	321
122-AL1/20-ST1A	0,0155	0,0001887	0,0001216	0,4949	0,2376	0,0000189	44500	74200	329
119-AL1/42-ST1A	0,0165	0,0002138	0,0001188	0,6539	0,2435	0,0000167	68790	90000	334
122-AL1/71-ST1A	0,0180	0,0002545	0,0001221	0,9087	0,2364	0,0000153	97920	104700	311
128-AL1/22-ST1A	0,0160	0,0002011	0,0001276	0,5245	0,2263	0,0000187	48060	74200	329
143-AL1/25-ST1A	0,0170	0,0002259	0,0001434	0,5893	0,2014	0,0000183	53290	74200	356
183-AL1/43-ST1A	0,0195	0,0002986	0,0001834	0,8501	0,1576	0,0000179	79970	80500	426
184-AL1/30-ST1A	0,0190	0,0002835	0,0001838	0,747	0,1571	0,0000189	62570	74200	421
212-AL1/49-ST1A	0,0210	0,0003464	0,0002121	0,9731	0,1363	0,0000179	91260	80500	469
243-AL1/39-ST1A	0,0218	0,0003733	0,0002431	0,988	0,1188	0,0000189	85120	74200	490
362-AL1/59-ST1A	0,0267	0,0005599	0,0003619	1,4739	0,0798	0,0000189	122970	74200	660
382-AL1/49-ST1A	0,0270	0,0005726	0,0003817	1,4523	0,0758	0,0000194	121300	67100	712
434-AL1/56-ST1A	0,0288	0,0006514	0,0003434	1,6524	0,0666	0,0000194	133590	67100	750
490-AL1/64-ST1A	0,0306	0,0007354	0,0004903	1,8529	0,059	0,0000194	150810	67100	823
679-AL1/86-ST1A	0,0360	0,0010179	0,0006786	2,5497	0,0426	0,0000195	206560	69700	1023

Obrázok 8-2 Okno výberu vodiča ACSR k porovnaniu

Pohyb medzi jednotlivými krokmi je zabezpečený tlačidlami medzi kartami programu, ktoré sa nachádzajú na každom okne v jeho dolnej časti. Pri pohybe po programe týmito tlačidlami sa jednotlivé voľby nemenia. Po výbere prvého typu vodiča k porovnaniu pokračujeme tlačidlom „Výber ACCC“ na ďalší krok popísaný v odseku nižšie.

8.3 Výber vodiča ACCC

V ďalšom kroku sa dostávame k výberu vodiča technológie ACCC. Rovnako ako pri výbere prvého vodiča k porovnaniu si vyberieme daný vodič prostredníctvom tlačidiel možností, ktoré prislúchajú vždy k danému riadku a zvolený vodič sa z červenej časti načíta do zelenej časti okna. Hodnoty parametrov vodičov a jednotlivé názvy a typy boli prevzaté zo sortimentu




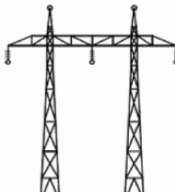
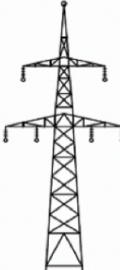

vodičov ACCC, ktoré boli dodané spoločnosťou ODEM Group zastupujúcou autorizovaného výrobcu jadier týchto vodičov pre Českú republiku. Po zvolení vodiča pokračujeme stlačením tlačidla „Definícia vedenia“ v dolnej časti obrazovky na ďalší krok. Hodnoty v jednotlivých bunkách nemeníme a neprepisujeme pre správne spracovanie výpočtov.

8.4 Definícia vedenia

Dostávame sa do kroku, kde je potrebné definovať vedenie a zadať jednotlivé parametre podrobne vysvetlené v ďalších riadkoch. Celý výpočet je farebne rozlíšený a všetky veličiny označené červenou farbou je potrebné voliť alebo zadávať ručne. Hodnoty označené zelenou farbou nemeníme, jedná sa o výpočty a zmenou hodnoty by bol narušený celý priebeh výpočtu, keďže jednotlivé bunky na seba úzko nadväzujú. Hodnoty označené modrou farbou vychádzajú z predošlých volieb a rovnako ich nemeníme.

Definícia vedenia a stožiarov

Vyberte typ stožiaru

		
<input type="radio"/> "vedenie 22 kV"	<input type="radio"/> "Jednodriekový stožiar"	<input checked="" type="radio"/> "Súdok"
		
<input type="radio"/> "Portál"	<input type="radio"/> "Donau"	<input type="radio"/> "Kočka"

Obrázok 8-3 Definícia vedenia

V prvom kroku si vyberieme typ stožiaru podľa priložených obrázkov a prislúchajúcich tlačidiel možností. Typ stožiaru sa uvažuje v ďalších výpočtoch hlavne na určenie výšky, počtov vodičov a ich závesných bodov. Výberom konkrétneho typu stožiaru sa upraví aj bunky na vloženie ďalších hodnôt, ktorými sú výšky jednotlivých závesných bodov.

Napríklad pri výbere stožiaru s dvoma radmi vodičov sa do riadku pre zadanie výšky závesného bodu stredného radu vloží pomlčka z dôvodu, že tento stožiar obsahuje len dva rady vodičov. Tieto pomlčky neprepisujeme. Pri následnom výbere iného stožiaru z obrázkovej ponuky sa zadané hodnoty výšok závesných bodov zmažú a konfigurácia upraví podľa počtu radov závesných bodov. Vopred generované pomlčky v žiadnom prípade neprepisujeme číslom, hodnoty vpisujeme len do prázdnych polí.

Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča dolného radu	$h_{dr} =$	-	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča stredného radu	$h_{sr} =$	-	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča horného radu	$h_{hr} =$		[m]
Zadajte dĺžku izolátorového závesu fázového vodiča	$h_{iz} =$		[m]

Obrázok 8-4 Prípád zmeny stožiaru a automatická úprava konfigurácie

V nasledujúcom kroku určujeme dĺžku kotevného rozpätia a výšku medzi dvomi podpernými kotevnými bodmi na základe čoho sa vypočíta podľa vybraného typu vodiča a dodatočného zaťaženia a ďalších parametrov napríklad aj dĺžka rozpätia medzi dvomi kotevnými bodmi a všetky súvisiace výpočty.

Zadajte dĺžku kotevného úseku	$a_{ku} =$	4000	[m]
Zadajte výšku medzi dvomi kotevnými bodmi	$h_{ku} =$	50	[m]

Obrázok 8-5 Hodnoty dĺžky a výšky kotevného rozpätia

Ďalšie veličiny označené zelenou farbou znamenajú vypočítané hodnoty podľa predošlých volieb, tieto hodnoty neupravujeme. Nasledujúcimi parametrami, ktoré potrebujeme upraviť sú vzdialenosti fázových vodičov od seba, ktoré vychádzajú vždy z konkrétnej aplikácie stožiaru a danej situácie. Ako vodič 1 uvažujeme vždy najspodnejší a najviac vľavo umiestnený, postupujeme smerom hore alebo doprava. V prípade stožiaru typu Portál môžu byť hodnoty nasledovné.

Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 2	$d_{12} =$	5	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 3	$d_{13} =$	10	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 2 od vodiča 3	$d_{23} =$	5	[m]

Obrázok 8-6 Hodnoty vzdialenosti vodičov od seba – príklad

Z dôvodu ďalších výpočtov v nasledujúcich častiach skriptu je potrebné zvoliť aj možnosť využitia zväzkových vodičov. V prípade ak sa nejedná o zväzkové vodiče vyberieme hneď v úvode možnosť „Nie“ a v ďalších krokoch týkajúcich sa zväzkových vodičov nemusíme pokračovať. Ak však zvolíme možnosť „Áno“ tak je potrebné doplniť aj upresňujúce údaje ako počet vodičov vo zväzku výberom z troch možností (2, 3, 4) a následným zadáním príslušných hodnôt podobne ako pri zápise hodnôt pre výšku závesných bodov. Pomlčky, ktoré sa do buniek zapíšu na základe zvoleného počtu vodičov vo zväzku znova neprepisujeme.

V poslednom kroku v tejto časti skriptu zvolíme uvažovanú napäťovú hladinu vedenia a pokračujeme kliknutím na kartu „Dodatočné zaťaženie“.

8.5 Dodatočné zaťaženie

V okne dodatočného zaťaženia vodičov je možné vidieť prvé výsledky čiastkových výpočtov. Celé okno je rozdelené na dve časti. V ľavej časti sa nachádza oblasť zadania a špecifikovania hodnôt dodatočného zaťaženia a v pravej časti sú čiastkové výsledky, ktoré neupravujeme.

Zameriame sa ďalej na ľavú časť kde si upresníme upravenie hodnôt a výber možností. Prvou voľbou, ktorú je potrebné si v časti pre definovanie parametrov pre zaťaženie vetrom vybrať je

veterná oblasť. Zvolením jednej z piatich možností sa nám menia hodnoty základnej rýchlosti vetra v modrej bunke nižšie. Pokračujeme výberom kategórie terénu kde si jednoducho vyberáme znova pomocou tlačidiel možností. Hodnoty ako parameter drsnosti terénu a súčiniteľ terénu sa v modrou označených bunkách menia na základe výberu. Hodnoty v modrých bunkách neprepisujeme. Hodnotu dĺžky kotevného úseku, to znamená dĺžku celého úseku lana medzi dvomi kotevnými podpernými bodmi (nie dvomi stožiarimi) označenú modrou rovnako neprepisujeme. Poslednou úlohou je voľba uhlu nábehu medzi smerom vetru a smerom k rozpätiu, ktorý ovplyvňuje celkovú silu vetru na vodič.

Výber parametrov pre zaťaženie vetrom

Vyberte veternú oblasť	<input type="radio"/> I <input type="radio"/> II <input checked="" type="radio"/> III <input type="radio"/> IV <input type="radio"/> V
Základná rýchlosť vetra podľa vybratej oblasti	$V_{b,0} =$ 27,5 [m/s]
Vyberte kategóriu terénu	<input type="radio"/> I <input checked="" type="radio"/> II <input type="radio"/> III <input type="radio"/> IV
Parameter drsnosti terénu podľa vybratej kategórie	$z_0 =$ 0,05 [-]
Súčiniteľ terénu podľa vybratej kategórie	$k_r =$ 0,189 [-]
Dĺžka kotevného úseku	$l_{ku} =$ 4000 [m]
Vyberte uhol nábehu medzi smerom vetru kolmo k rozpätiu	<div>◀ ██████████ ▶</div> $\Delta =$ 0 [°]

Obrázok 8-7 Časť upresnenia parametrov pre zaťaženie vetrom

Ďalej musíme na tomto okne upraviť a upresniť ešte parametre pre zaťaženie námrazou kde vyberáme len dve hodnoty. Volíme znova pomocou tlačidiel možností, ktorými zvolíme uvažovanú námrazovú oblasť a úroveň spoľahlivosti.

Výsledkom čiastkových výpočtov v tomto okne dostaneme pomerné hodnoty zaťaženia vetrom, námrazou a kombináciou vetra a námrazy, a jednotlivé kroky výpočtov smerujúce k týmto výsledkom. Dve hodnoty v bunkách označených zelenou farbou v jednom riadku znamenajú stále vľavo hodnotu pre vodič ACSR a vpravo hodnotu pre vodič ACCC.

	ACSR	ACCC	
$I_n =$	3 879	2 909	[N/m]

Obrázok 8-8 Ľavé hodnoty vodiča ACSR a pravé vodiča ACCC

Pokračujeme prepnutím na kartu „Posúdenie kotevného rozpätia“ v dolnej časti okna.

8.6 Posúdenie kotevného rozpätia

V tejto časti skriptu dospejeme k prvým výsledkom, na základe ktorých potom ďalej počítame hodnoty zaťaženia v jednotlivom rozpätí. Výsledkom výpočtov na tejto karte je určenie maximálneho možného dosiahnuteľného rozpätia v prípade dodržania minimálnych vzdialeností vodičov od Zeme. Na základe maximálneho možného rozpätia dostaneme počet rozpätí v kotevnom úseku, čím môžeme dôjsť k záveru, že v niektorých prípadoch je možné pri použití vodiča ACCC vzhľadom na jeho lepšie parametre dosiahnuť menší počet podporných bodov na danej dĺžke kotevného rozpätia.

Výpočet pre kotevný úsek bez dodatočného zaťaženia				
		ACSR	ACCC	
Tiaž 1 m vodiča z predchádzajúceho kroku	$g_1 =$	9,692	7,289	[N/m]
Prierez vodiča z predchádzajúceho kroku	$s =$	0,0003733	0,0002895	[m ²]
Merná tiaž vodiča	$\gamma =$	25967,078	25174,768	[N/m ³]
Horizontálne namáhanie vo vodiči max. konštrukčné	$\sigma_{Hm} =$	132	149	[MPa]
Horizontálne namáhanie vo vodiči pre -5°C a zaťaženie námrazou	$\sigma_{H0} =$	94	100	[MPa]
Parameter reťazovky	$c =$	3620,0	3972,2	[m]
Maximálne rozpätie ACSR	$a_{max} =$	546		[m]
Sledovaný rozdiel ACSR		0,01		
Maximálne rozpätie ACCC	$a_{max} =$	572		[m]
Sledovaný rozdiel ACCC		0,01		
Ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí	$a_i =$	636,5	671,3	[m]
Maximálny ideálny priehyb	$f_{mi} =$	14,0	14,2	[m]
Výška medzi podpornými bodmi rozpätia podľa výšky medzi k	$h_{roz} =$	6,8	7,2	[m]
	$x_a =$	227,7	236,3	[m]
Výška terénu v bode vyššie postaveného podperného bodu roz	$h_{ter} =$	2,8	3,0	[m]
Minimálna výška vodičov nad terénom	$h_{min} =$	8		[m]
Výška kotevného bodu najnižšieho vodiča na stožiar	$h_{sto} =$	18	18	[m]
	$x =$	7,2	7,0	[m]
Overenie maximálneho ideálneho priehybu	$f_{mit} =$	14,0	14,2	[m]
Počet rozpätí v kotevnom úseku	$n_{pr} =$	8	7	[ks]
Počet nosných podporných bodov v kotevnom úseku	$n_{npb} =$	7	6	[ks]
Počet kotevných podporných bodov v kotevnom úseku	$n_{kpb} =$	2	2	[ks]
Percentuálny rozdiel v nákladoch na podperné body	$R_{\%} =$	11		[%]

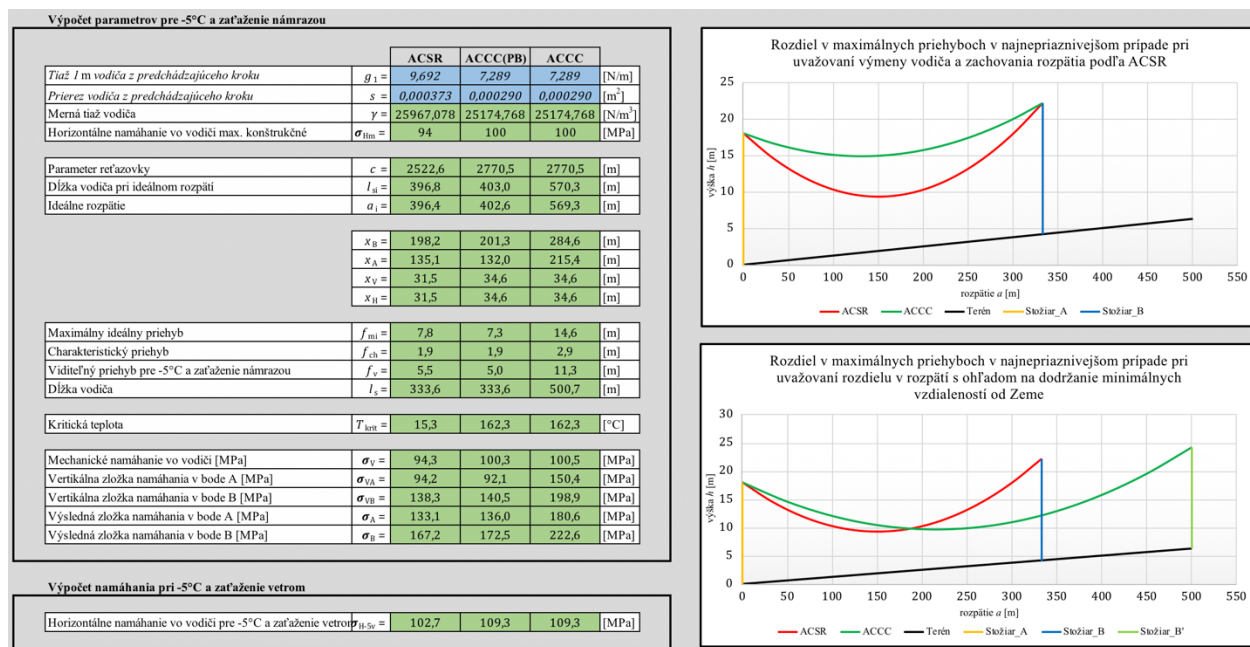
Obrázok 8-9 Hodnoty posúdenia maximálneho rozpätia

Toto okno obsahuje tri oblasti tohto vzhľadu kde volíme nasledovne popísané veličiny. Ide o tri oblasti z dôvodu, že tento výpočet posudzujeme jednak pre stav bez dodatočného zaťaženia, a ďalej pre zaťaženie námrazou a pri maximálnej teplote. Vždy je potrebné v prvom rade zvoliť minimálnu vzdialenosť vodiča nad terénom. Následne musíme posuvníkmi nastaviť horizontálne návrhové namáhanie vo vodiči s ohľadom na maximálnu hodnotu, ktorá je v bunke nad ním. Ďalej vyberieme posuvníkmi také rozpätie, kedy bude hodnota v ostro červenej bunke minimálna. Táto hodnota rozpätia znamená maximálne možné dosiahnuteľné rozpätie. Rovnako opakujeme pre vodič ACCC. V dolnej časti potom vidíme výsledky počtu rozpätí v zadanom kotevnom úseku, počet kotevných a počet nosných podperných bodov v danom kotevnom úseku a percentuálny rozdiel medzi počtom týchto jednotlivých rozpätí. V zobrazených grafoch je znázornené rozloženie nosných podperných bodov v najnepriaznivejšom prípade maximálneho viditeľného rozpätia, ku ktorému dôjde buď pri zaťažení námrazou alebo pri maximálnej teplote okolia.

Pokračujeme kliknutím na kartu „Výpočet mechanických parametrov“.

8.7 Výpočet mechanických parametrov

Dostaneme sa do výsledkovej časti mechanických parametrov vodičov kde už nie je potrebné zadávať žiadne ďalšie parametre. Všetky hodnoty pre výpočet sa použijú z predošlých volieb a pri návrate na predošlé kroky a dodatočné zmeny sa výsledky okamžite prispôbujú. V ľavej výpočtovej časti môžeme vidieť tri stĺpce hodnôt, kde ľavý s označením ACSR znamená výpočet pre vodič ACSR, stredný s označením ACCC(PB) znamená výpočet pre vodič ACCC ale so zachovaným rozložením podperných bodov podľa ACSR a v poslednom stĺpci je výpočet pre vodič typu ACCC s maximálne dosiahnuteľnými parametrami.



Obrázok 8-10 Horná časť okna s výsledkami mechanického zaťaženia

V tomto okne sa na základe hodnôt zadaných pri definícii vedenia vykreslia grafy, kde prvý graf predstavuje rozdiel závesov so zvolenými vodičmi pri rešpektovaní súčasného stavu rozloženia stožiarov pre stav výmeny vodičov a zachovania podperných bodov a rovnako zadanej výšky medzi dvomi závesnými bodmi. V druhom grafe môžeme vidieť rozdiel v rozložení stožiarov jedného rozpätia z dôvodu použitia dvoch odlišných typov vodičov pri výstavbe nového vedenia s rešpektovaním minimálnych vzdialeností medzi vodičmi a terénom. Následne sú nižšie

8.8 Výpočet elektrických parametrů

8.9 Posúdenie ekonomických rozdielov

Pri posúdení ekonomických rozdielov vychádzame z rozpočtového programu spoločnosti ČEZ Distribuce odkiaľ sme čerpali jednotlivé položky pre ocenenie vedení, či už pri rekonštrukcii a výmene vodičov alebo pri výstavbe nového vedenia. Vo vrchnej časti tohto okna nájdeme v ľavej časti položky výmeny vodičov kde dostaneme čiastkovú cenu pre obe varianty ako ACSR tak aj ACCC. Rovnako tak tieto čiastkové výsledky dostaneme aj pre položky nového vedenia v pravej časti okna. V červeno označených bunkách nájdeme pomerovú celkovú cenu a percentuálny rozdiel. Do časti výmeny vodičov sa počíta s počtom stožiarov, ktoré sú dané súčasným stavom. V sekcii nového vedenia sa počet stožiarov upravuje podľa rozdielných parametrov daných použitým typom lán. Aj táto položka vo veľkej miere ovplyvní čiastkovú pomerovú cenu.

<

Obrázok 8-11 Rozloženie položiek výmeny vodičov a nového vedenia

Nižšie potom môžeme vidieť položky, ktoré už súvisia ako s vodičmi ACCC tak aj ACSR a rovnako tak ako s novým vedením tak aj s rekonštrukciou, a ktoré súvisia s konkrétnou aplikáciou a projektom, ktoré je však potrebné doplniť dodatočne. Jednotkové pomerové ceny materiálu a práce sú utajené z dôvodu finančnej politiky zadávateľa práce. Na finálnu obrazovku sa presunieme kliknutím na kartu „Zhrnutie“.

8.10 Zhrnutie

V poslednej časti programu sa dostaneme k celkovému zhrnutiu nášho výpočtu, kde sa nám po zadaní pokynu k tlačí vytvorí protokol s tými najdôležitejšími hodnotami z výpočtu, ktoré je možné použiť pre ďalšie účely. Tento protokol je čisto informatívny a slúži ako papierová príloha k výpočtu v tomto programe, kde sú uvedené všetky čiastkové hodnoty podrobnejšie.

9 METODIKA VÝPOČTU

V programe sa využíva viacero výpočtov, ktoré boli čerpané z rôznych zdrojov. Pre upresnenie výsledkov a ich následnú kontrolu je potrebné overiť výsledky a čiastočné výpočty ručným prepočítaním na základe ktorého bude možné určiť ich správnosť a vylúčiť chybovosť. V nasledujúcich odstavcoch uvedieme všetky výpočty a ich zdroje pre prípadnú kontrolu. Všetky názvy veličín a značenia vychádzajú z príslušných zdrojov.

9.1 Definícia vedenia

Táto časť sa z väčšej časti skladá zo zadávaných hodnôt, no nájdeme na tejto karte aj niekoľko čiastkových výpočtov.

Výpočet teoretickej výšky terénu v bode nosného podperného bodu pri známych hodnotách celkovej výšky medzi dvomi kotevnými podpernými bodmi, celkového kotevného rozpätia a rozpätia medzi jednotlivými podpernými bodmi určíme v kapitole 9.3.

Pokračujeme výpočtom referenčnej výšky fázových vodičov, ktorá vo veľkej miere závisí na rozložení fázových vodičov na stožiaroch a na ich počte. Pre príklad uvedieme výpočet referenčnej výšky pre stožiar typu „Súdok“

$$h_r = \frac{(h_{hr} - h_{iz}) \cdot 2 + (h_{sr} - h_{iz}) \cdot 2 + (h_{dr} - h_{iz}) \cdot 2}{n_{fv}} \quad (9.1)$$

po dosadení

$$h_r = \frac{(22 - 1) \cdot 2 + (20 - 1) \cdot 2 + (18 - 1) \cdot 2}{6} = 19 \text{ m}$$

kde h_r [m] je referenčná výška fázových vodičov, h_{hr} , h_{sr} , h_{dr} [m] je výška vodičov horného, dolného a stredného radu na stožiaroch od terénu, h_{iz} [m] je dĺžka izolátorového závesu a n_{fv} [ks] je počet kusov fázových vodičov.

Tieto výpočty sú položené na základe všeobecných vedomostí zo základov matematiky a fyziky.

9.2 Dodatočné zaťaženie

Na karte dodatočného zaťaženia sú využité výpočty a vzťahy z aktuálne platnej normy ČSN EN 50341-1 ed. 2 podľa [10]. Na základe týchto vzťahov boli určené pomerné hodnoty zaťaženia námrazou, vetrom, ich kombináciou a extrémnou námrazou. Z dôvodu prehľadu týchto výpočtov a kontroly uvádzame celý postup výpočtu.

Výpočet jednotkového zaťaženia vetrom je nasledovné, kde v prvom kroku vypočítame strednú rýchlosť vetra

$$V_h = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_o \cdot k_r \cdot \ln\left(\frac{h_r}{z_0}\right) \quad (9.2)$$

po dosadení dostávame

$$V_h = 27,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,189 \cdot \ln\left(\frac{19}{0,05}\right) = 30,9 \text{ m/s}$$

kde V_h [m/s] je stredná rýchlosť vetra, $V_{b,0}$ [m/s] je základná rýchlosť vetra, c_{dir} [-] je súčiniteľ smeru vetra, c_o [-] je súčiniteľ orografie, k_r [-] je súčiniteľ terénu, h_r [m] je referenčná výška vodičov, z_0 [-] je parameter drsnosti terénu.

Ďalej sme určili stredný tlak vetra

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2 \quad (9.3)$$

dosadíme

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30,9^2 \approx 595,8 \text{ N/m}^2$$

kde q_h [N/m²] je stredný tlak vetra, ρ [kg/m³] je hustota vzduchu, V_h [m/s] je stredná rýchlosť vetra.

Aby sme dostali maximálny tlak vetra, tak bolo potrebné určiť ešte intenzitu turbulencie

$$I_V = \frac{1}{c_o \cdot \left(\ln \frac{h_r}{z_0}\right)} \quad (9.4)$$

dosadíme

$$I_V = \frac{1}{1 \cdot \left(\ln \frac{19}{0,05}\right)} = 0,168$$

kde I_V [-] je intenzita turbulencie, c_o [-] je súčiniteľ orografie, h_r [m] je referenčná výška vodičov, z_0 [-] je parameter drsnosti terénu.

Dostaneme

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_V) \cdot q_h \quad (9.5)$$

po dosadení

$$q_p = (1 + 7 \cdot 0,168) \cdot 595,8 \approx 1297,8 \text{ N/m}^2$$

kde q_p [N/m²] je maximálny tlak vetra, I_V [-] je intenzita turbulencie, q_h [N/m²] je stredný tlak vetra.

Následne je potrebné určiť jednotlivé veličiny pre výpočet jednotkového zaťaženia vetrom

$$L = 300 \cdot \left(\frac{h_r}{200}\right)^{0,67+0,05 \cdot \ln(z_0)} \quad (9.6)$$

dosadíme

$$L = 300 \cdot \left(\frac{19}{200}\right)^{0,67+0,05 \cdot \ln(0,05)} = 88,2 \text{ m}$$

kde L [m] je mierka dĺžky turbulencie, h_r [m] je referenčná výška vodičov, z_0 [-] je parameter drsnosti terénu.

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{a_{ku}}{L}} \quad (9.7)$$

dosadíme

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{4000}{88,2}} = 0,014$$

kde B^2 [-] je súčiniteľ odozvy pozadia, a_{ku} [m] je dĺžka kotevného rozpätia, L [m] je mierka dĺžky turbulencie.

$$G_C = \frac{1 + 6 \cdot I_V \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_V} \quad (9.8)$$

po dosadení

$$G_C = \frac{1 + 6 \cdot 0,168 \cdot \sqrt{0,014}}{1 + 7 \cdot 0,168} \approx 0,515$$

kde G_C [-] je súčiniteľ konštrukcie, I_V [-] je intenzita turbulencie, B^2 [-] je súčiniteľ odozvy pozadia.

Pristúpime k výpočtu jednotkového zaťaženia vetrom, kde pre príklad uvedieme len výpočet pre vybraný typ vodiča ACSR, pre typ vodiča ACCC je rozdielny len zadaný priemer vodiča

$$q_{wc} = q_p \cdot G_C \cdot C_c \cdot d \cdot \cos^2 \Delta \quad (9.9)$$

dosadíme

$$q_{wc} = 1297,8 \cdot 0,515 \cdot 1 \cdot 0,022 \cdot \cos^2(0^\circ) \approx 14,566 \text{ N/m}$$

kde q_{wc} [N/m] je jednotkové zaťaženie vetrom, G_C [-] je súčiniteľ konštrukcie, C_c [-] je súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča, d [m] je priemer vodiča, Δ [°] je uhol nábehu smerom kolmo k rozpätiu.

Pre porovnanie uvádzame predošlé výpočty s rovnakými vstupnými hodnotami aj z programu v Exceli, kde sa výsledky zhodujú s týmito uvedenými výsledkami.

Výpočet pre jednotkové zaťaženie vetrom				
Referenčná výška podľa predchádzajúceho kroku	$h_r =$	19,0	[m]	
Stredná rýchlosť vetra	$V_h =$	30,9	[m/s]	
Stredný tlak vetra	$q_h =$	595,8	[N/m ²]	
Intenzita turbulencie	$I_v =$	0,168	[-]	
Maximálny tlak vetra	$q_p =$	1297,8	[N/m ²]	
Mierka dĺžky turbulencie	$L =$	88,2	[m]	
Súčiniteľ odozvy pozadia	$B^2 =$	0,014	[-]	
Súčiniteľ konštrukcie	$G_c =$	0,515	[-]	
Súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča	$C_c =$	1	[-]	
		ACSR	ACCC	
Priemer vodičov podľa výberu vodičov	$d =$	0,022	0,019	[m]
Jednotkové zaťaženie vodiča vetrom	$q_{wc} =$	14,566	12,829	[N/m]

Obrázok 9-1 Vzorový výpočet pre jednotkové zaťaženie vetrom

Následne pristúpime na tejto karte k výpočtu pre jednotkové zaťaženie námrazou, kde si rovnako uvedieme celý postup výpočtu. Pre príklad uvedieme znova len vzorový výpočet pre vodiče typu ACSR.

Referenčné zaťaženie námrazou pre námrazovú oblasť N1 a daný priemer vodiča bude

$$I_R = 3,873 + 0,2698 \cdot d \quad (9.10)$$

dosadíme

$$I_R = 3,873 + 0,2698 \cdot 0,022 = 3,879 \text{ N/m}$$

kde I_R [N/m] je referenčné zaťaženie námrazou, d [m] je priemer vodiča.

$$K_h = \left(\frac{h_r}{10} \right)^{0,13} \quad (9.11)$$

po dosadení

$$K_h = \left(\frac{19}{10} \right)^{0,13} = 1,087$$

kde K_h [-] je súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou, h_r [m] je referenčná výška vodičov.

Charakteristické zaťaženie námrazou potom bude

$$I_k = K_h \cdot I_R \quad (9.12)$$

dosadíme

$$I_k = 1,087 \cdot 3,879 = 4,216 \text{ N/m}$$

kde I_k [N/m] je charakteristické zaťaženie námrazou, K_h [-] je súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou, I_R [N/m] je referenčné zaťaženie námrazou.

Výslednou hodnotou jednotkového zaťaženia námrazou je navrhované zaťaženie námrazou, ktoré určíme ako

$$I_d = I_k \cdot \gamma_I \quad (9.13)$$

po dosadení

$$I_d = 4,216 \cdot 1 = 4,216 \text{ N/m}$$

kde I_d [N/m] je navrhované zaťaženie námrazou, I_k [N/m] je charakteristické zaťaženie námrazou, γ_I [-] je koeficient spoľahlivosti určený z tabuľkových hodnôt.

Pre porovnanie uvedené výsledky výpočtov s rovnakými vstupnými hodnotami prevedieme aj výpočtom v programe Excel.

Výpočet pre jednotkové zaťaženie námrazou				
		ACSR	ACCC	
Referenčné zaťaženie námrazou [N/m]	$I_R =$	3,879	2,909	[N/m]
Súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou	$K_h =$	1,087		[-]
Charakteristické zaťaženie námrazou [N/m]	$I_k =$	4,216	3,162	[N/m]
Navrhované zaťaženie námrazou [N/m]	$I_d =$	4,216	3,162	[N/m]

Obrázok 9-2 Vzorový výpočet pre jednotkové zaťaženie námrazou

Pokračujeme výpočtom kombinovaného zaťaženia, kde sa uvažuje s rýchlosťou vetra na omrznutý vodič a ekvivalentným priemerom vodiča pokrytého námrazou oproti jednotkovému zaťaženiu vetrom alebo námrazou.

$$V_h = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_o \cdot k_r \cdot \ln\left(\frac{h_r}{z_0}\right) \quad (9.14)$$

dosadíme

$$V_h = 27,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,189 \cdot \ln\left(\frac{19}{0,05}\right) = 30,9 \text{ m/s}$$

kde V_h [m/s] je stredná rýchlosť vetra, $V_{b,0}$ [m/s] je základná rýchlosť vetra, c_{dir} [-] je súčiniteľ smeru vetra, c_o [-] je súčiniteľ orografie, k_r [-] je súčiniteľ terénu, h_r [m] je referenčná výška vodičov, z_0 [-] je parameter drsnosti terénu.

Stredná rýchlosť vetra pri námraze sa vypočíta ako

$$V_{IL} = V_h \cdot \sqrt{0,25} \quad (9.15)$$

po dosadení

$$V_{IL} = 30,9 \cdot \sqrt{0,25} \approx 15,4 \text{ m/s}$$

kde V_{IL} [m/s] je stredná rýchlosť vetra pri námraze, V_h [m/s] je stredná rýchlosť vetra.

Pokračujeme vo výpočte obdobne ako pri jednotkovom zaťažení námrazou, ale do úvahy berieme parametre rešpektujúce námrazu,

$$q_{Ih} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{IL}^2 \quad (9.16)$$

dosadíme

$$q_{Ih} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,4^2 \approx 148,9 \text{ N/m}^2$$

kde q_{Ih} [N/m²] je stredný tlak vetra pri námraze, ρ [kg/m³] je hustota vzduchu, V_{IL} [m/s] je stredná rýchlosť vetra pri námraze.

V ďalšom kroku určíme maximálny tlak vetra pri námraze, kde hodnotu intenzity turbulencie využijeme z výpočtu pre jednotkové zaťaženie námrazou.

$$q_{Ip} = (1 + 7 \cdot I_V) \cdot q_{Ih} \quad (9.17)$$

kde dosadíme

$$q_{Ip} = (1 + 7 \cdot 0,168) \cdot 148,9 \approx 324,5 \text{ N/m}^2$$

kde q_{Ip} [N/m²] je maximálny tlak vetra pri námraze, I_V [-] je intenzita turbulencie, q_{Ih} [N/m²] je stredný tlak vetra pri námraze.

V ďalšom kroku je potrebné určiť ekvivalentný priemer vodiča pokrytého námrazou, pretože pri námraze na vodiči je celkové zaťaženie vetrom pomerne menšie ako pri vodiči v stave bez námrazy,

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} \quad (9.18)$$

po dosadení

$$D = \sqrt{0,022^2 + \frac{4 \cdot 4,216}{9,81 \cdot \pi \cdot 500}} = 0,040 \text{ m}$$

kde D [m] je ekvivalentný priemer vodiča, d [m] je priemer vodiča ACSR, I_d [N/m] je návrhové zaťaženie námrazou, g [N/kg] je tiaž vodiča, ρ_I [kg/m³] je hustota námrazy.

Následne dostávame výslednú hodnotu jednotkového kombinovaného zaťaženia

$$q_{IWc} = q_{Ip} \cdot G_C \cdot C_C \cdot D \cdot \cos^2 \Delta \quad (9.19)$$

dosadíme

$$q_{IWc} = 324,5 \cdot 0,515 \cdot 1,1 \cdot 0,040 \cdot \cos^2(0^\circ) \approx 7,280 \text{ N/m}$$

kde q_{IWc} [N/m] je jednotkové zaťaženie vetrom na omrznutý vodič, G_C [-] je súčiniteľ konštrukcie, C_C [-] je súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča, D [m] je priemer omrznutého vodiča, Δ [°] je uhol nábehu smerom kolmo k rozpätiu.

Pre porovnanie uvádzame obrázok vzorového výpočtu z programu Excel.

Výpočet pre kombinované zaťaženie				
Extrémna rýchlosť vetra pri námraze	$V_h =$	30,9	[m/s]	
Stredná rýchlosť vetra pri námraze	$V_{IL} =$	15,4	[m/s]	
Stredný tlak vetra pri námraze	$q_{lh} =$	148,9	[N/m ²]	
Maximálny tlak vetra pri námraze	$q_{lp} =$	324,5	[N/m ²]	
Súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča	$C_{IC} =$	1,1	[-]	
		ACSR	ACCC	
Ekvivalentný priemer vodiča pokrytého námrazou	$D =$	0,040	0,034	[m]
Jednotkové zaťaženie vodiča vetrom	$q_{lwc} =$	7,280	6,337	[N/m]

Obrázok 9-3 Vzorový výpočet predošlých vzťahov z programu

9.3 Posúdenie kotevného rozpätia

Na tejto karte programu dostaneme výsledky rozdielu počtu nosných podperných bodov v kotevnom rozpätí zadanej dĺžky pri vodičoch ACSR a ACCC, kedy sú dodržané minimálne vzdialenosti od terénu podľa podnikovej normy energetiky PNE 333301 [21]. Na základe týchto hodnôt dostávame dĺžku jedného rozpätia a výšku terénu v bode podperného bodu. Výpočet je parametrizovaný na rozsah zadaných hodnôt, kedy počet rozpätí nepresiahne 20. Postup výpočtu vychádza z výpočtu maximálneho priehybu šikmého poľa závesu, kedy si zvolíme rozpätie na začiatku a porovnávame ho s overeným rozpätím pri vypočítanom priehybe zadaného rozpätia. Hodnota priehybu, pri ktorej je rozdiel tohto porovnania minimálny značí maximálne dosiahnuteľné rozpätie. Vzťahy pre výpočet tejto kapitoly boli využité na základe výpočtov v kapitole 9.4.

Postup výpočtu pre jeho overenie uvádzame pre kotevný úsek bez dodatočného zaťaženia a pre vodič ACSR. Pre ďalšie záťažové stavy a vodič ACCC je postup rovnaký až na uvažovanie zaťaženia. Ako prvý bod je výpočet parametra reťazovky

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma} \quad (9.20)$$

dosadíme

$$c = \frac{94 \cdot 10^6}{25967,078} = 3620,0 \text{ m}$$

kde c [m] je parameter reťazovky, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, γ [N/m³] je merná tiaž vodiča.

Následne si určíme kotevné rozpätie posuvníkmi v Exceli kde určíme vstupnú hodnotu vo výpočte

$$a_{\max} = 597 \text{ m}$$

kde a_{\max} [m] je volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdieli.

Na základe tejto hodnoty potom pokračujeme výpočtom ideálneho rozpätia a maximálneho ideálneho priehybu kde rešpektujeme sklon terénu a ďalšie parametre. V tomto vzťahu sme idealizovali dĺžku vodiča na danom rozpätí, kde používame hodnotu zadaného rozpätia. Presnosť výpočtu sa nemení a stále je hľadaná hodnota na rovnakej úrovni, potom

$$h_{\text{roz}} = a_{\text{max}} \cdot \frac{h_{\text{ku}}}{a_{\text{ku}}} \quad (9.21)$$

dosadíme

$$h_{\text{roz}} = 597 \cdot \frac{50}{4000} = 7,5 \text{ m}$$

kde h_{roz} [m] je výška terénu v mieste podperného bodu, a_{max} [m] je volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdieli, h_{ku} [m] je výška terénu v kotevnom úseku, a_{ku} [m] je dĺžka kotevného rozpätia.

$$a_i = a_{\text{max}} + 2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{h_{\text{roz}}}{a_{\text{max}}}\right) \quad (9.22)$$

po dosadení

$$a_i = 597 + 2 \cdot 3620,0 \cdot \sinh\left(\frac{7,5}{597}\right) \approx 687,5 \text{ m}$$

kde a_i [m] je ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí, a_{max} [m] je volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdieli, c [m] je parameter reťazovky, h_{roz} [m] je výška terénu v mieste podperného bodu.

$$f_{\text{mi}} = \frac{a_i^2}{8 \cdot c} \quad (9.23)$$

kde dosadíme

$$f_{\text{mi}} = \frac{687,5^2}{8 \cdot 3620,0} = 16,3 \text{ m}$$

kde f_{mi} [m] je maximálny ideálny priehyb, a_i [m] je ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí, c [m] je parameter reťazovky.

Týmto výpočtom sme dostali prvú časť k porovnaniu. Pokračujeme výpočtom teoretického maximálneho priehybu podľa zadaného rozpätia, kde dostaneme druhú časť k porovnaniu dvoch hodnôt. Najskôr si určíme rozmer od vyššie položeného podperného bodu k miestu maximálneho priehybu nasledovne

$$x_a = a_{\text{max}} - \frac{a_i}{2} \quad (9.24)$$

po dosadení

$$x_a = 597 - \frac{687,5}{2} \approx 253,2 \text{ m}$$

kde x_a [m] je rozmer od vyššie položeného podperného bodu k miestu maximálneho priehybu, a_{\max} [m] je volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdieli, a_i [m] je ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí.

Následne si určíme výšku terénu v tomto bode

$$h_{\text{ter}} = x_a \cdot \frac{h_{\text{roz}}}{a_{\max}} \quad (9.25)$$

po dosadení

$$h_{\text{ter}} = 253,2 \cdot \frac{7,5}{597} = 3,2 \text{ m}$$

kde h_{ter} [m] je výška terénu v mieste bodu x_a , x_a [m] je rozmer od vyššie položeného podperného bodu k miestu maximálneho priehybu, h_{roz} [m] je výška terénu v mieste podperného bodu, a_{\max} [m] je volené rozpätie pri najmenšom sledovanom rozdieli.

V ďalšom kroku je potrebné po overení správnych hodnôt minimálnej výšky vodičov nad terénom a výšky najnižšieho vodiča na stožiaroch vypočítať hodnotu x , ktorá nám udáva dovolený maximálny priehyb vzhľadom k najnižšiemu bodu na nižšie položenom stožiaroch v rozpätí pri rešpektovaní minimálnej výšky vodiča nad terénom

$$x = h_{\text{sto}} - (h_{\min} + h_{\text{ter}}) \quad (9.26)$$

po dosadení

$$x = 18 - (6 + 3,2) = 8,8 \text{ m}$$

kde x [m] je dovolený maximálny priehyb vzhľadom k najnižšiemu bodu na nižšie položenom stožiaroch v rozpätí, h_{sto} [m] je výška kotvenia najnižšieho vodiča na stožiaroch od Zeme, h_{ter} [m] je výška terénu v mieste bodu x_a .

Dostávame hodnotu maximálneho priehybu od vyššie položeného podperného bodu v rozpätí dovoleného pri danom stave s ohľadom na konštrukčné parametre vodiča

$$f_{\text{mit}} = x + h_{\text{roz}} \quad (9.27)$$

dosadíme

$$f_{\text{mit}} = 8,8 + 7,5 = 16,3 \text{ m}$$

kde f_{mit} [m] je maximálny ideálny priehyb teoretický, x [m] je dovolený maximálny priehyb vzhľadom k najnižšiemu bodu na nižšie položenom stožiaroch v rozpätí, h_{roz} [m] je výška terénu v mieste podperného bodu.

Sledovaný rozdiel dvoch hodnôt maximálnych priehybov je v tomto prípade na úrovni 0,01 m. Je to najnižšia dosiahnuteľná hodnota, takže môžeme predpokladať, že maximálna dĺžka rozpätia v kotevnom úseku zadaných parametrov môže byť 546 m. Volíme preto počet podperných bodov

tak, aby nebola presiahnutá táto hodnota. Výsledkom je 8 rozpätí po 500 metrov. To nám potom dáva 7 nosných podperných bodov a dva kotevné podperné body. Hodnoty v tomto výpočte sú výsledkom špecifického zadania, a vždy je potreba prihliadať na zadané hodnoty, tým pádom výsledok nemusí byť vždy výhodný z pohľadu využitia technológie vodičov ACCC.

Pre porovnanie a overenie správnosti výsledkov pridávame aj hodnoty z vytvoreného programu v Exceli.

Parameter reťazovky	$c =$	3620,0	3972,2	[m]
Maximálne rozpätie ACSR	$a_{\max} =$	597		[m]
Sledovaný rozdiel ACSR		0,02		
Maximálne rozpätie ACCC	$a_{\max} =$	626		[m]
Sledovaný rozdiel ACCC		0,02		
Ideálne rozpätie pri zadanom rozpätí	$a_i =$	687,5	725,3	[m]
Maximálny ideálny prichyb	$f_{mi} =$	16,3	16,6	[m]
Výška medzi podpernými bodmi rozpätia podľa výšky medzi k	$h_{roz} =$	7,5	7,8	[m]
	$x_a =$	253,2	263,3	[m]
Výška terénu v bode vyššie postaveného podperného bodu roz	$h_{ter} =$	3,2	3,3	[m]
Minimálna výška vodičov nad terénom	$h_{\min} =$	6		[m]
Výška kotevného bodu najnižšieho vodiča na stožiar	$h_{sto} =$	18	18	[m]
	$x =$	8,8	8,7	[m]
Overenie maximálneho ideálneho prichybu	$f_{mit} =$	16,3	16,5	[m]
Počet rozpätí v kotevnom úseku	$n_{pr} =$	7	7	[ks]

Obrázok 9-4 Vzorový výpočet posúdenia kotevného rozpätia

Pre vykreslenie grafov celého kotevného úseku sú použité pomocné tabuľky, ktoré sa automaticky dopĺňujú podľa počtu rozpätí v kotevnom úseku. Pre príklad automatického výpočtu si uvedieme vzťahy na základe ktorých sa výpočty realizujú. Obmedzením grafov je vykreslenie maximálne 20 rozpätí. Pre príklad uvádzame ukážku prvých troch polí.

		1. pole		2. pole		3. pole	
		p_p [m]	a_p [m]	p_p [m]	a_p [m]	p_p [m]	a_p [m]
Pomocná tabuľka pre graf ACSR		18,0	0,0	22,2	333,3	26,3	666,7
		14,6	33,3	18,7	366,7	22,9	700,0
		12,0	66,7	16,2	400,0	20,3	733,3
		10,3	100,0	14,4	433,3	18,6	766,7
		9,4	133,3	13,6	466,7	17,7	800,0
		9,4	166,7	13,6	500,0	17,7	833,3
		10,2	200,0	14,4	533,3	18,6	866,7
		11,9	233,3	16,1	566,7	20,3	900,0
		14,5	266,7	18,7	600,0	22,8	933,3
		17,9	300,0	22,1	633,3	26,2	966,7
0	0	17,9	300,0	22,1	633,3	26,2	966,7
4000	50	22,2	333,3	26,3	666,7	30,5	1000,0
		0,0	0,0	666,7	8,3	1000,0	12,5
		0,0	18,0	666,7	26,3	1000,0	30,5
		333,3	4,2				
		333,3	22,2				

Obrázok 9-5 Pomocná tabuľka pre vykreslenie grafov

Hodnoty označené svetlosivou farbou sú jednotlivé body v priebehu vykresľujúce prieťah vodiča. Hodnoty označené tmavosivou farbou sú hodnoty pomocné ako napríklad dĺžka a výška celého kotevného úseku prebratá z predošlých zadaných hodnôt alebo výška a dĺžka jedného konkrétného rozpätia. Grafy sa vykresľujú pre najnepriaznivejší prípad zaťaženia vedenia.

Zameriame sa na hodnoty označené v stĺpcoch ako a_p [m] a p_p [m]. Hodnoty a_p [m] značia horizontálne vzdialenosti na grafe, to znamená vzdialenosť v metroch v časti daného rozpätia. Určíme ich ako pomerovú časť daného rozpätia z dôvodu automatického prispôsobenia hodnôt zmeny zadaných veličín. Napríklad pre 40 % 2. poľa rozpätia túto hodnotu určíme nasledovne

$$a_p = (0,4 \cdot a) + a \quad (9.28)$$

po dosadení

$$a_p = (0,4 \cdot 333,3) + 333,3 = 466,7 \text{ m}$$

kde a_p [m] je hodnota na vodorovnej osi grafu a značí vzdialenosť v rozpätí, a [m] je hodnota dĺžky jedného rozpätia v kotevnom úseku pri uvažovanom zaťažení.

Hodnota označená v stĺpci ako p_p [m] sa vypočítava za podmienky ak je v predošlom výpočte počtu rozpätí v kotevnom úseku počet vyšší ako predošlé počítané pole. To znamená, že ak je polí v kotevnom úseku viac ako 1, počíta sa aj pole číslo 2. Udáva bod na zvislej osi grafu, to znamená výšku bodu prieťahu vodiča daného rozpätia s prihliadnutím na výšku terénu. Pre 40 % 2. poľa rozpätia túto hodnotu určíme ako

$$p_p = \left(\left(\left(p_r \cdot a \cdot \frac{h_{ku}}{a_{ku}} \right) + h_{sto} \right) - \frac{(a_{1p40} \cdot (a - a_{1p40}))}{2 \cdot c} \right) + \left(\frac{h_{ku}}{a_{ku}} \cdot a_{1p40} \right) \quad (9.29)$$

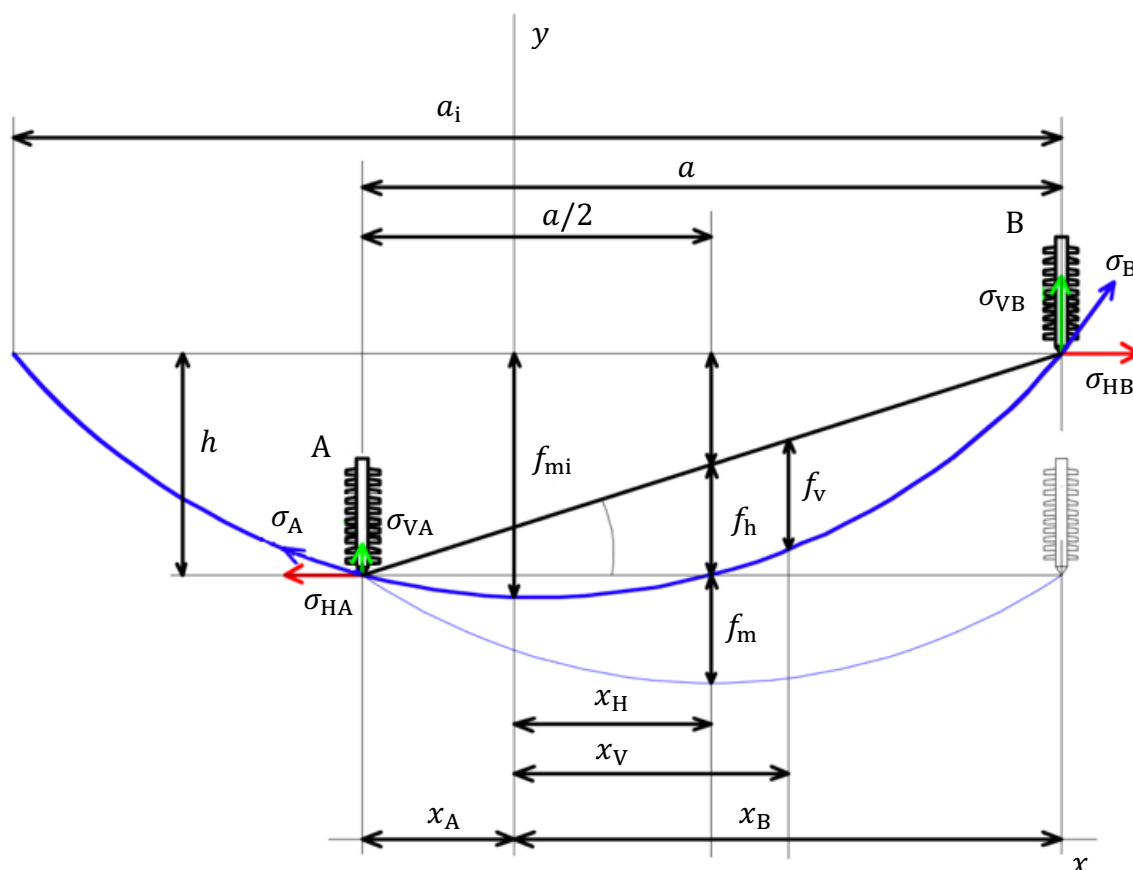
po dosadení

$$\left(\left(\left(2 \cdot 333,3 \cdot \frac{50}{4000} \right) + 18 \right) - \frac{(133,3 \cdot (333,3 - 133,3))}{2 \cdot 1300,3} \right) + \left(\frac{50}{4000} \cdot 133,3 \right) = 13,6 \text{ m}$$

kde p_p [m] je hodnota na zvislej osi grafu a značí výšku priehybu v danom bode na vodorovnej osi, p_r [-] je poradie poľa, a [m] je hodnota dĺžky jedného rozpätia v kotevnom úseku pri uvažovanom zaťažení, h_{ku} [m] je výška terénu v kotevnom úseku, a_{ku} [m] je dĺžka kotevného rozpätia, h_{sto} [m] je výška kotvenia najnižšieho vodiča na stožiaroch od Zeme, a_{1p40} [m] je hodnota dĺžky rozpätia prvého poľa v 40 % jeho celkovej dĺžky, c [m] je parameter reťazovky.

9.4 Výpočet mechanických parametrov

Vzorový výpočet mechanických parametrov realizujeme pre viacero stavov počasia daných normou. Pre ukážku však uvedieme výpočet pre vodič typu ACSR a -5 °C s námrazou. Vodič typu ACCC a rôzne iné typy počasia sa zhodujú v postupe a metodike s uvedenými vzťahmi. Výpočet je založený na značení podľa obrázku, ktoré sa zhoduje s programom v Exceli. Tento postup bol vypočítaný podľa [20].



Obrázok 9-6 Grafické rozloženie hodnôt a označenie

Výpočet parametru reťazovky sme demonštrovali v predchádzajúcej kapitole, a preto začneme vzorový výpočet ideálnym rozpätím a dĺžkou vodiča v ideálnom rozpätí

$$a_i = a + 2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{h}{a}\right) \quad (9.30)$$

dosadíme

$$a_i = 333,3 + 2 \cdot 2522,6 \cdot \sinh\left(\frac{4,2}{333,3}\right) \approx 396,4 \text{ m}$$

kde a_i [m] je ideálne rozpätie, a [m] je rozpätie, c [m] je parameter reťazovky, h [m] je rozdiel výšky v rozpätí,

$$l_{si} = 2 \cdot c \cdot \sinh\frac{a_i}{2 \cdot c} \quad (9.31)$$

kde dosadíme

$$l_{si} = 2 \cdot 2522,6 \cdot \sinh\frac{396,4}{2 \cdot 2522,6} = 396,8 \text{ m}$$

kde l_{si} [m] je dĺžka vodiča pri ideálnom rozpätí, c [m] je parameter reťazovky, a_i [m] je ideálne rozpätie.

V ďalšom postupe si vypočítame jednotlivé parametre potrebné k ďalším výpočtom ako

$$x_B = \frac{a_i}{2} \quad (9.32)$$

dosadíme

$$x_B = \frac{396,4}{2} = 198,2 \text{ m},$$

$$x_A = a - x_B \quad (9.33)$$

kde dosadíme

$$x_A = 333,3 - 198,2 = 135,1 \text{ m},$$

$$x_V = c \cdot \sinh\frac{h}{a} \quad (9.34)$$

po dosadení

$$x_V = 2522,6 \cdot \sinh\left(\frac{4,2}{333,3}\right) \approx 31,5 \text{ m},$$

$$x_H = \frac{a}{2} - x_A \quad (9.35)$$

dosadíme

$$x_H = \frac{a}{2} - x_A = \frac{333,3}{2} - 135,1 \approx 31,5 \text{ m},$$

kde a_i [m] je ideálne rozpätie, a [m] je rozpätie, c [m] je parameter reťazovky, h [m] je rozdiel výšky v rozpätí.

Následne pristúpime k výpočtom výsledných hodnôt maximálneho ideálneho priehybu, charakteristického priehybu, viditeľného priehybu a dĺžky vodiča nasledovne kedy

$$f_{mi} = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c \quad (9.36)$$

po dosadení

$$f_{mi} = 2522,6 \cdot \cosh \frac{198,2}{2522,6} - 2522,6 = 7,8 \text{ m}$$

kde f_{mi} [m] je maximálny ideálny priehyb, a_i [m] je ideálne rozpätie, c [m] je parameter reťazovky.

Ďalej

$$f_{ch} = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - \cosh \frac{x_A}{c} \right) \quad (9.37)$$

kde dosadíme

$$f_{ch} = 2522,6 \cdot \left(\cosh \frac{333,3}{2 \cdot 2522,6} - \cosh \frac{135,1}{2522,6} \right) = 1,9 \text{ m}$$

kde f_{ch} [m] je charakteristický priehyb, c [m] je parameter reťazovky, a [m] je rozpätie.

Pokračujeme výpočtom viditeľného priehybu podľa [20]

$$f_V = c \cdot \left(\cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{x_V}{c} \right) - \left((x_B - x_V) \cdot \frac{h}{a} \right) \quad (9.38)$$

dosadíme

$$f_V = 2522,6 \cdot \left(\cosh \frac{198,2}{2522,6} - \cosh \frac{31,5}{2522,6} \right) - \left((198,2 - 31,5) \cdot \frac{4,2}{333,3} \right) = 5,5 \text{ m}$$

kde f_V [m] je viditeľný priehyb, c [m] je parameter reťazovky, h [m] je rozdiel výšky v rozpätí, a [m] je rozpätie.

Dĺžka vodiča bude podľa [20]

$$l_s = c \cdot \left(\sinh \frac{x_A}{c} + \sinh \frac{x_B}{c} \right) \quad (9.39)$$

po dosadení

$$l_s = 2522,6 \cdot \left(\sinh \frac{135,1}{2522,6} + \sinh \frac{198,2}{2522,6} \right) = 333,6 \text{ m}$$

kde l_s [m] je dĺžka vodiča, c [m] je parameter reťazovky.

Ďalej určíme kritickú teplotu pre určenie najnepriaznivejšieho stavu zaťaženia

$$T_{\text{krit}} = \left(\frac{\sigma_H}{\alpha \cdot E} \cdot \frac{z_n - 1}{z_n} \right) - 5 \quad (9.40)$$

dosadíme

$$T_{\text{krit}} = \left(\frac{94 \cdot 10^6}{0,019 \cdot 10^{-3} \cdot 74,2 \cdot 10^9} \cdot \frac{1,435 - 1}{1,435} \right) - 5 \approx 15,3 \text{ °C}$$

kde T_{krit} [°C] je kritická teplota, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, α [1/K] je teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti, E [MPa] je modul pružnosti, z_n [-] je pomerná hodnota zaťaženia námrazou.

Poslednou úlohou je vypočítať jednotlivé zložky namáhania, ako mechanické namáhanie vo vodiči, vertikálnu zložku namáhania v danom bode a nakoniec celkové namáhanie v danom bode. Mechanické namáhanie vo vodiči určíme ako

$$\sigma_V = \sigma_H \cdot \left(\frac{f_{mi}}{c} + 1 \right) \quad (9.41)$$

kde dosadíme

$$\sigma_V = 94 \cdot \left(\frac{7,8}{2522,6} + 1 \right) = 94,3 \text{ MPa}$$

kde σ_V [MPa] je vertikálna zložka namáhania vo vodiči, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, f_{mi} [m] je maximálny ideálny priehyb, c [m] je parameter reťazovky.

Následne pokračujeme výpočtom vertikálnej zložky namáhania v bode A a B

$$\sigma_{VA} = c \cdot \sinh \left(\frac{x_A}{c} \right) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{c}{\sigma_H} \right) \quad (9.42)$$

dosadíme

$$\sigma_{VA} = 2522,6 \cdot \sinh \left(\frac{135,1}{2522,6} \right) \cdot 25967,078 \cdot \left(\frac{2522,6}{94 \cdot 10^6} \right) = 94,2 \text{ MPa}$$

kde σ_{VA} [MPa] je vertikálna zložka namáhania v bode A, c [m] je parameter reťazovky, γ [N/m³] je merná tiaž vodiča, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči,

$$\sigma_{VB} = c \cdot \sinh \left(\frac{x_B}{c} \right) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{c}{\sigma_H} \right) \quad (9.43)$$

po dosadení

$$\sigma_{VB} = 2522,6 \cdot \sinh\left(\frac{198,2}{2522,6}\right) \cdot 25967,078 \cdot \left(\frac{2522,6}{94 \cdot 10^6}\right) = 138,3 \text{ MPa}$$

kde σ_{VB} [MPa] je vertikálna zložka namáhania v bode B, c [m] je parameter reťazovky, γ [N/m³] je merná tiaž vodiča, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči.

Výsledné zložky namáhania v bode A a B potom budú

$$\sigma_A = \sqrt{(\sigma_H^2 + \sigma_{VA}^2)} \quad (9.44)$$

dosadíme

$$\sigma_A = \sqrt{(94^2 + 94,2^2)} = 133,1 \text{ MPa}$$

kde σ_A [MPa] je výsledná zložka namáhania v bode A, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, σ_{VA} [MPa] je vertikálna zložka namáhania v bode A,

$$\sigma_B = \sqrt{(\sigma_H^2 + \sigma_{VB}^2)} \quad (9.45)$$

kde dosadíme

$$\sigma_B = \sqrt{(94^2 + 138,3^2)} = 167,2 \text{ MPa}$$

kde σ_B [MPa] je výsledná zložka namáhania v bode B, σ_H [MPa] je horizontálne namáhanie vo vodiči, σ_{VB} [MPa] je vertikálna zložka namáhania v bode B.

Pre výpočet ďalších stavov zaťaženia je potrebné zrealizovať výpočet cez stavovú rovnicu. Rovnako tak sme museli výpočet stavovej rovnice prispôbiť tomu, aby bolo možné automatické prispôsobenie zadaným údajom. Pre zložitosť výpočtu ho nebudeme v práci dopodrobna uvádzať.

Horizontálne namáhanie vo vodiči pre -5°C a zaťaženie námrazou	$\sigma_{H0} =$	94	100	100	[MPa]
Parameter reťazovky	$c =$	2522,6	2770,5	2770,5	[m]
Dĺžka vodiča pri ideálnom rozpätí	$l_{si} =$	396,8	403,0	570,3	[m]
Ideálne rozpätie	$a_i =$	396,4	402,6	569,3	[m]
	$x_B =$	198,2	201,3	284,6	[m]
	$x_A =$	135,1	132,0	215,4	[m]
	$x_V =$	31,5	34,6	34,6	[m]
	$x_H =$	31,5	34,6	34,6	[m]
Maximálny ideálny priehyb	$f_{mi} =$	7,8	7,3	14,6	[m]
Charakteristický priehyb	$f_{ch} =$	1,9	1,9	2,9	[m]
Viditeľný priehyb pre -5°C a zaťaženie námrazou	$f_v =$	5,5	5,0	11,3	[m]
Dĺžka vodiča	$l_s =$	333,6	333,6	500,7	[m]
Kritická teplota	$T_{krit} =$	15,3	162,3	162,3	[°C]
Mechanické namáhanie vo vodiči [MPa]	$\sigma_V =$	94,3	100,3	100,5	[MPa]
Vertikálna zložka namáhania v bode A [MPa]	$\sigma_{VA} =$	94,2	92,1	150,4	[MPa]
Vertikálna zložka namáhania v bode B [MPa]	$\sigma_{VB} =$	138,3	140,5	198,9	[MPa]
Výsledná zložka namáhania v bode A [MPa]	$\sigma_A =$	133,1	136,0	180,6	[MPa]
Výsledná zložka namáhania v bode B [MPa]	$\sigma_B =$	167,2	172,5	222,6	[MPa]

Obrázok 9-7 Vzorový výpočet mechanických parametrov

Pomocné výpočty pre zobrazenie grafov sú podobné uvedeným v kapitole 9.3, no v tomto prípade ide o jednoduchšiu situáciu, keďže je potrebné zobrazenie len pre jedno rozpätie.

9.5 Výpočet elektrických parametrov

V ďalšej časti programu sme pristúpili k porovnaniu elektrických parametrov vodičov. Postupne sme určili rezistenciu, indukčnosť aj kapacitu vodičov a rovnako tak pozdĺžne a priečne parametre vedenia. Jednotlivé vzťahy boli použité podľa [22] s mierne odlišným značením.

V prvom rade si určíme rezistenciu alebo odpor vedenia a to

$$R_{20} = R_{20L} \cdot l_s \quad (9.46)$$

po dosadení

$$R_{20} = 0,119 \cdot 4,003 = 0,476 \, \Omega$$

kde R_{20} [Ω] je odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri 20°C, R_{20L} [Ω/km] je odpor vodiča na jednotku dĺžky pri 20°C, l_s [km] je dĺžka vodiča v kilometroch.

Následne sme odpor vodiča prepočítali na viacero teplotných stavov, pre príklad uvádzame jeden prepočet na -30°C kde

$$R_{-30} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (-30 - 20)) \quad (9.47)$$

dosadíme

$$R_{-30} = 0,476 \cdot (1 + 0,004 \cdot (-30 - 20)) = 0,380 \, \Omega$$

kde R_{-30} [Ω] je odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri -30°C , R_{20} [Ω] je odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri 20°C , α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] je teplotný súčiniteľ odporu.

Menovitý odpor pri 20°C na jednotku dĺžky	$R_{20L} =$	0,119	0,113	[Ω/km]
Dĺžka vodiča z predchádzajúceho kroku	$l_s =$	4,003	4,006	[km]
Menovitý odpor pri 20°C	$R_{20} =$	0,476	0,451	[Ω]
Menovitý odpor pri -30°C	$R_{-30} =$	0,380	0,361	[Ω]

Obrázok 9-8 Vzorový výpočet odporu vodiča

Pristúpime k výpočtu indukčnosti, kde si potrebujeme k výpočtu určiť strednú vzdialenosť vodičov, v prípade výberu zväzkových vodičov na karte definície vedenia uvažujeme do výpočtu aj tento fakt,

$$d_{\text{str}} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \quad (9.48)$$

dosadíme

$$d_{\text{str}} = \sqrt[3]{5 \cdot 10 \cdot 5} = 6,3 \text{ m}$$

kde d_{str} [m] je stredná vzdialenosť vodičov, d_{12} , d_{13} , d_{23} [m] sú vzdialenosti vodičov od seba,

$$L_L = 0,46 \cdot \log \frac{d_{\text{str}}}{r} + 0,05 \cdot \mu_r \quad (9.49)$$

kde dosadíme

$$L_L = 0,46 \cdot \log \frac{6,3}{0,0109} + 0,05 \cdot 1,000023 = 1,270 \text{ H/km}$$

kde L_L [H/km] je indukčnosť vodiča na jednotku dĺžky, d_{str} [m] je stredná vzdialenosť vodičov, r [m] je polomer vodiča, μ_r [H/km] je relatívna permeabilita.

Výsledná hodnota bude

$$L = L_L \cdot l_s \quad (9.50)$$

po dosadení

$$L = 1,270 \cdot 4,003 = 5,086 \text{ H}$$

kde L [H] je menovitá indukčnosť vodiča, L_L [H/km] je indukčnosť vodiča na jednotku dĺžky, l_s [km] je dĺžka vodiča v kilometroch.

Výsledné hodnoty z Excelu je možné vidieť na obrázku nižšie.

Stredná vzdialenosť vodičov	$d_{\text{str}} =$	6,3		[m]
Menovitá indukčnosť na jednotku dĺžky	$L_{\text{L}} =$	1,270	1,296	[H/km]
Menovitá indukčnosť	$L =$	5,086	5,191	[H]

Obrázok 9-9 Vzorový výpočet indukčnosti

V ďalšom kroku si určíme vzájomnú kapacitu, kapacitu voči Zemi, prevádzkovú kapacitu. Pre výpočet týchto hodnôt je potrebné si vypočítať potenciálové koeficienty s prihliadnutím na využitie zväzkových vodičov

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h_k}{r}\right) \quad (9.51)$$

po dosadení

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln\left(\frac{37,9}{0,0109}\right) = 1,466 \cdot 10^{11}$$

kde α [-] je vlastný potenciálový koeficient, ε_r [F/m] je relatívna permitivita, ε_0 [F/m] je permitivita vákua, h_k [m] je stredná výška vodičov, r [m] je polomer vodiča,

$$\alpha_v = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{d_{km}'}{d_{km}}\right) \quad (9.52)$$

dosadíme

$$\alpha_v = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln\left(\frac{38,5}{6,3}\right) = 3,254 \cdot 10^{10}$$

kde α_v [-] je vzájomný potenciálový koeficient, ε_r [F/m] je relatívna permitivita, ε_0 [F/m] je permitivita vákua, d_{km}' [m] je stredná vzdialenosť vodiča k jeho obrazu, d_{km} [m] je stredná vzdialenosť medzi vodičmi,

$$\beta = \frac{\alpha^2 - \alpha_v^2}{\alpha^3 + 2 \cdot \alpha_v^3 - 3 \cdot \alpha \cdot \alpha_v^2} \quad (9.53)$$

po dosadení

$$\beta = \frac{(1,466 \cdot 10^{11})^2 - (3,254 \cdot 10^{10})^2}{(1,466 \cdot 10^{11})^3 + 2 \cdot (3,254 \cdot 10^{10})^3 - 3 \cdot 1,466 \cdot 10^{11} \cdot (3,254 \cdot 10^{10})^2} = 7,423 \cdot 10^{-12}$$

kde β [-] je koeficient, α [-] je vlastný potenciálový koeficient, α_v [-] je vzájomný potenciálový koeficient,

$$\beta_v = \frac{\alpha_v^2 - \alpha \cdot \alpha_v}{\alpha^3 + 2 \cdot \alpha_v^3 - 3 \cdot \alpha \cdot \alpha_v^2} \quad (9.54)$$

kde dosadíme

$$\beta_v = \frac{(3,254 \cdot 10^{10})^2 - 3 \cdot 1,466 \cdot 10^{11} \cdot 3,254 \cdot 10^{10}}{(1,466 \cdot 10^{11})^3 + 2 \cdot (3,254 \cdot 10^{10})^3 - 3 \cdot 1,466 \cdot 10^{11} \cdot (3,254 \cdot 10^{10})^2} = -1,349 \cdot 10^{-12}$$

kde β_v [-] je koeficient, α [-] je vlastný potenciálový koeficient, α_v [-] je vzájomný potenciálový koeficient.

Pristúpime k výpočtu jednotlivých kapacít, vzájomná kapacita bude

$$C_v = -\beta_v \quad (9.55)$$

po dosadení

$$C_V = -(-1,349 \cdot 10^{-12}) = 1,349 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

kde C_V [F] je vzájomná kapacita, β_V [-] je koeficient.

Kapacita voči Zemi

$$C_0 = \beta + 2 \cdot \beta_V \quad (9.56)$$

dosadíme

$$C_0 = 7,423 \cdot 10^{-12} + 2 \cdot (-1,349 \cdot 10^{-12}) = 4,725 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

kde C_0 [F] je kapacita voči Zemi, β [-] je koeficient, β_V [-] je koeficient.

Následne dostaneme prevádzkovú kapacitu

$$C_p = C_0 + 3 \cdot C_V \quad (9.57)$$

kde dosadíme

$$C_p = 1,349 \cdot 10^{-12} + 3 \cdot 4,725 \cdot 10^{-12} = 8,771 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

kde C_p [F] je prevádzková kapacita, C_0 [F] je kapacita voči Zemi, C_V [F] je vzájomná kapacita.

Hodnoty z výpočtu v programe Excel je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.

Stredná hodnota vlastného potenciálového koeficientu	$\alpha =$	1,466E+11	1,488E+11	[-]
Stredná hodnota vzájomného potenciálového koeficientu	$\alpha_V =$	3,254E+10	3,254E+10	[-]
Koeficient	$\beta =$	7,423E-12	7,291E-12	[-]
Koeficient	$\beta_V =$	-1,349E-12	-1,308E-12	[-]
Vzájomná kapacita	$C_V =$	1,349	1,308	[pF]
Kapacita voči zemi	$C_0 =$	4,725	4,675	[pF]
Prevádzková kapacita	$C_p =$	8,771	8,599	[pF]

Obrázok 9-10 Vzorový výpočet kapacít

Následne môžeme vypočítať prenosové parametre vedenia so zvolenými typmi vodičov. Tak ako pre predošlé vzťahy uvedieme len vzorový výpočet pre vodiče typu ACSR.

Menovitý odpor vedenia má hodnotu

$$R_K = R_{20} = 0,4755 \Omega$$

kde R_K [Ω] je menovitý odpor vedenia, R_{20} [Ω] je odpor vodiča zadaného kotevného úseku pri 20°C.

Induktívnu reaktanciu dostaneme ako

$$X_K = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (9.58)$$

dosadíme

$$X_K = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 5,086 = 1597,707 \Omega$$

kde X_K [Ω] je indukčná reaktancia vedenia, f [Hz] je frekvencia, L [H] je menovitá indukčnosť vodiča.

Konduktancia je hodnota, ktorej výpočet sa podľa [22] často zanedbáva. Je to odôvodnené jednak jej veľkosťou kedy je oproti iným veličinám zanedbateľná a jednak rozsahom jej možnej veľkosti, ktorá sa môže pohybovať vo veľkých medziach. Pri presných výpočtoch sa táto zložka uvažuje, ale s použitím ďalších výpočtov na určenie spomínaných medzí.

Volíme tabuľkovú hodnotu

$$G_K = 4 \cdot 10^{-8} \text{ S}$$

kde G_K [S] je konduktancia vedenia.

Kapacitná susceptancia je daná ako

$$B_K = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_p \quad (9.59)$$

po dosadení

$$B_K = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 8,771 \cdot 10^{-12} = 2,756 \cdot 10^{-9} \text{ S}$$

kde B_K [S] je kapacitná susceptancia vedenia, f [Hz] je frekvencia, C_p [F] je prevádzková kapacita.

Pozdĺžnu impedanciu dostávame ako

$$Z_K = R_K + j \cdot X_K \quad (9.60)$$

dosadíme

$$Z_K = 0,4755 + j \cdot 1597,707 = 1597,707 \angle 89,983^\circ \Omega$$

kde Z_K [Ω] je pozdĺžna impedancia vedenia, R_K [Ω] je menovitý odpor vedenia, X_K [Ω] je indukčná reaktancia vedenia.

Priečna admitancia je daná ako

$$Y_K = G_K + j \cdot B_K \quad (9.61)$$

kde dosadíme

$$Y_K = 4 \cdot 10^{-8} + j \cdot 2,756 \cdot 10^{-9} = 4,009 \cdot 10^{-8} \angle 3,941^\circ \text{ S}$$

kde Y_K [S] je priečna admitancia vedenia, G_K [S] je konduktancia vedenia, B_K [S] je kapacitná susceptancia vedenia.

Ako porovnanie s vypočítanými hodnotami pridávame obrázok z programu Excel.

Menovitý odpor	$R_K =$	0,476	0,451	[Ω]
Induktívna reaktancia	$X_K =$	1597,825	1630,757	[Ω]
Konduktancia	$G_K =$	4,000E-08	4,000E-08	[S]
Kapacitná susceptancia	$B_K =$	2,756E-09	2,701E-09	[S]
Pozdĺžna impedancia	$Z_K =$	1597,826	1630,757	[Ω]
	$\varphi_K =$	89,983	89,984	[°]
Priečna admitancia	$Y_K =$	4,009E-08	4,009E-08	[S]
	$\psi_K =$	3,941	3,864	[°]

Obrázok 9-11 Výpočet prenosových parametrov

Ďalšie výpočty súvisia len s jednoduchými výpočtami výkonov, ktoré sú založené na základoch elektrotechniky a preto ich v práci nebudeme ďalej dopodrobna rozoberať.

9.6 Posúdenie ekonomických parametrov

V časti programu posúdenia ekonomických parametrov sú zhrnuté jednotlivé položky súvisiace s dvomi porovnávanými stavmi, ako výmeny vodičov a zachovania stožiarov tak aj výstavby nového vedenia. Jednotlivé ceny sú uvedené v pomeroch k číslu neuvedenému v tejto práci z dôvodu cenovej politiky zadávateľa práce. Rovnako tak sú jednotlivé pomerové ceny ukryté z toho istého dôvodu.

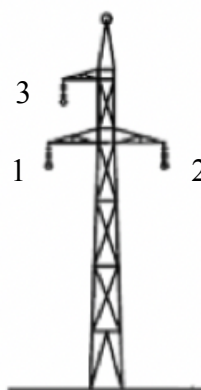
Výpočty na tejto karte sú realizované jednoduchým súčtom jednotlivých pomerových položiek a ich percentuálnym porovnaním. V dolnej časti obrazovky sú ďalšie položky súvisiace s konkrétnym projektom a ich vyhodnotenie nie je možné, pretože sa viažu práve ku konkrétnej aplikácii vodičov.

10 PRÍKLAD POUŽITIA PROGRAMU

V tejto kapitole si uvedieme príklady porovnania dvoch typov vodičov vo vytvorenej aplikácii programu Excel a popíšeme si výsledky špecifického zadania. Každé zadanie sa môže meniť v závislosti na voľbe jednotlivých parametrov zaťaženia. Pre rovnaké výsledky je nutné rovnaké zadanie všetkých čiastkových premenných v priebehu celého programu.

10.1 Porovnanie vodičov rovnakého priemeru

Pre toto porovnanie sme zvolili dva vodiče odpovedajúceho priemeru. Vodič typu ACSR bol zvolený 184-AL1/30-ST1A s priemerom 0,019 m. Vodič typu ACCC bol zvolený model „Reykjavik“ s priemerom 0,0188 m. Pre definíciu vedenia bol zvolený podperný bod typu „jednodriekový stožiar“ s jednotlivými výškami závesných bodov fázových vodičov a izolátorového závesu podľa nasledujúcich obrázkov.



Obrázok 10-1 Jednodriekový stožiar

Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča dolného radu	$h_{dr} =$	18	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča stredného radu	$h_{sr} =$	-	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča horného radu	$h_{hr} =$	20,5	[m]
Zadajte dĺžku izolátorového závesu fázového vodiča	$h_{iz} =$	0,6	[m]

Obrázok 10-2 Výšky závesných bodov pre porovnanie vodičov

Dĺžka kotevného úseku bola zvolená na úrovni 4000 m. Výška terénu medzi dvomi kotevnými podpernými bodmi predstavuje 50 m. Jednotlivé vzdialenosti vodičov od seba na stožiaroch podľa rozloženia z obrázku 10-1 sú na nasledujúcom obrázku.

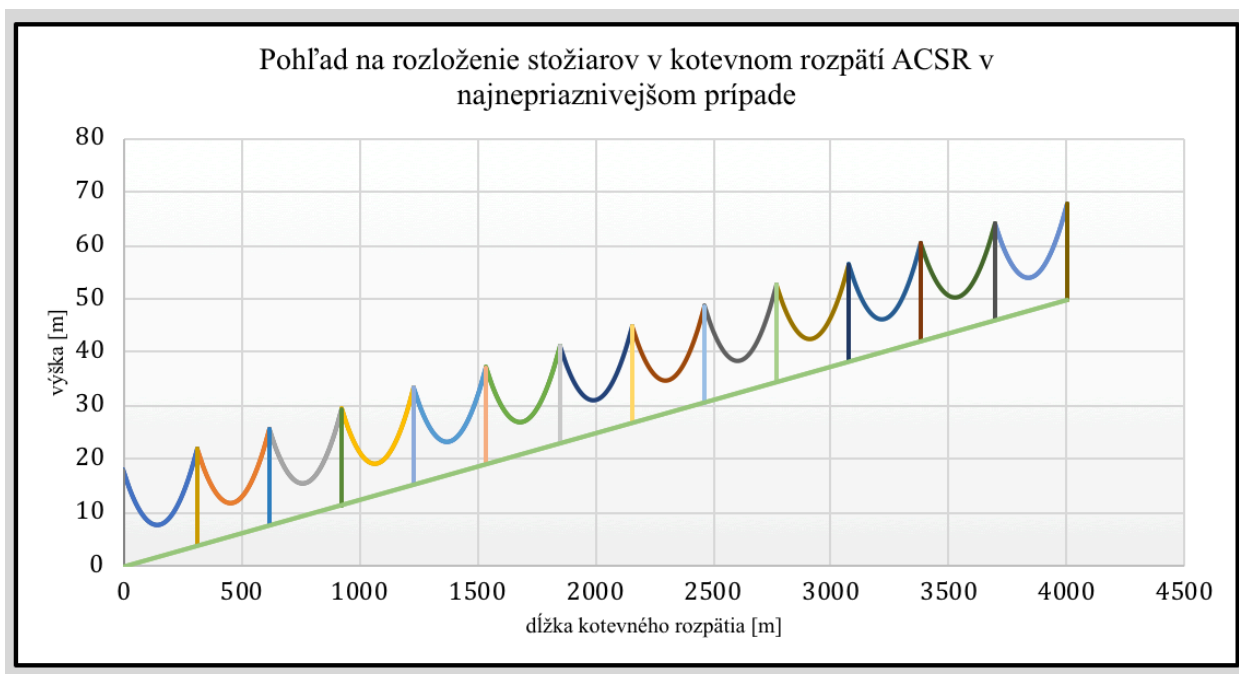
Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 2	$d_{12} =$	6,00	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 3	$d_{13} =$	2,55	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 2 od vodiča 3	$d_{23} =$	6,04	[m]

Obrázok 10-3 Vzdialenosti vodičov na stožiaroch

Voľba zväzkových vodičov nebola zvolená, napäťová hladina je volená na úrovni 110 kV. Pre dodatočné zaťaženie sme zvolili veternú oblasť II a kategóriu terénu III. Čo sa týka námrazy, tak hodnota námrazovej oblasti bola na úrovni N3, kým úroveň spoľahlivosti na hodnote 1.

Z výsledkov pomerových hodnôt jednotlivých zaťažení dokážeme predpokladať, že pri zaťažení námrazou pôsobí táto námraza horšie na vodič typu ACSR, kým vodič typu ACCC má pomernú hodnotu zaťaženia približne o 15 % nižšiu. Pri pomernej hodnote zaťaženia vetrom je zas tento prejav zaťaženia opačný. Z dôvodu nižšej hmotnosti vodiča pôsobí na vodič typu ACCC väčšie zaťaženie vetrom. Pri kombinovanom zaťažení sa ale tento jav neprejaví až v takej miere a stále prevláda pomerne zaťaženie pre vodič typu ACSR.

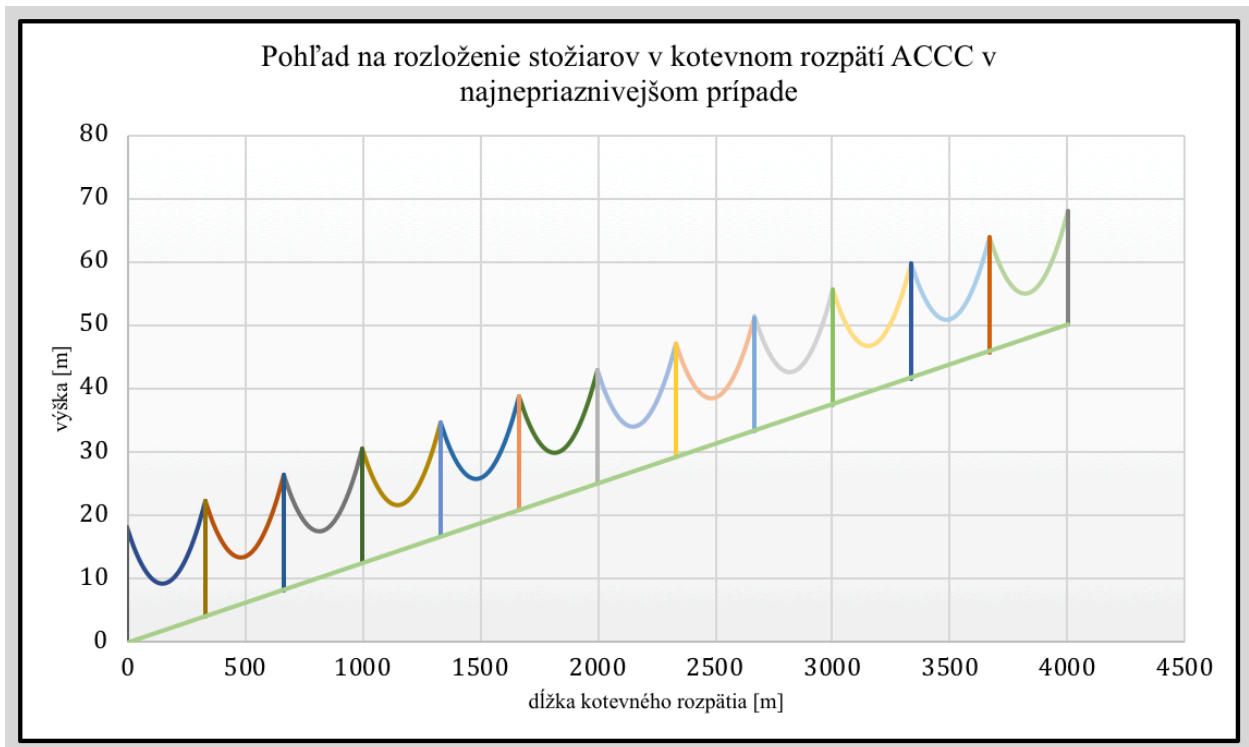
Pokračujeme návrhom počtu nosných podporných bodov v kotevnom rozpätí. Podľa výsledných grafov v programe usudzujeme, že pre najnepriaznivejší prípad zaťaženia, ktorý musíme uvažovať je pre vodič typu ACSR pri zachovaní minimálnych vzdialeností vodiča od terénu potrebných 12 nosných podporných bodov. Tým pádom bude v kotevnom úseku 13 rozpätí.



Obrázok 10-4 Zobrazenie rozloženia rozpätí v kotevnom úseku pre ACSR

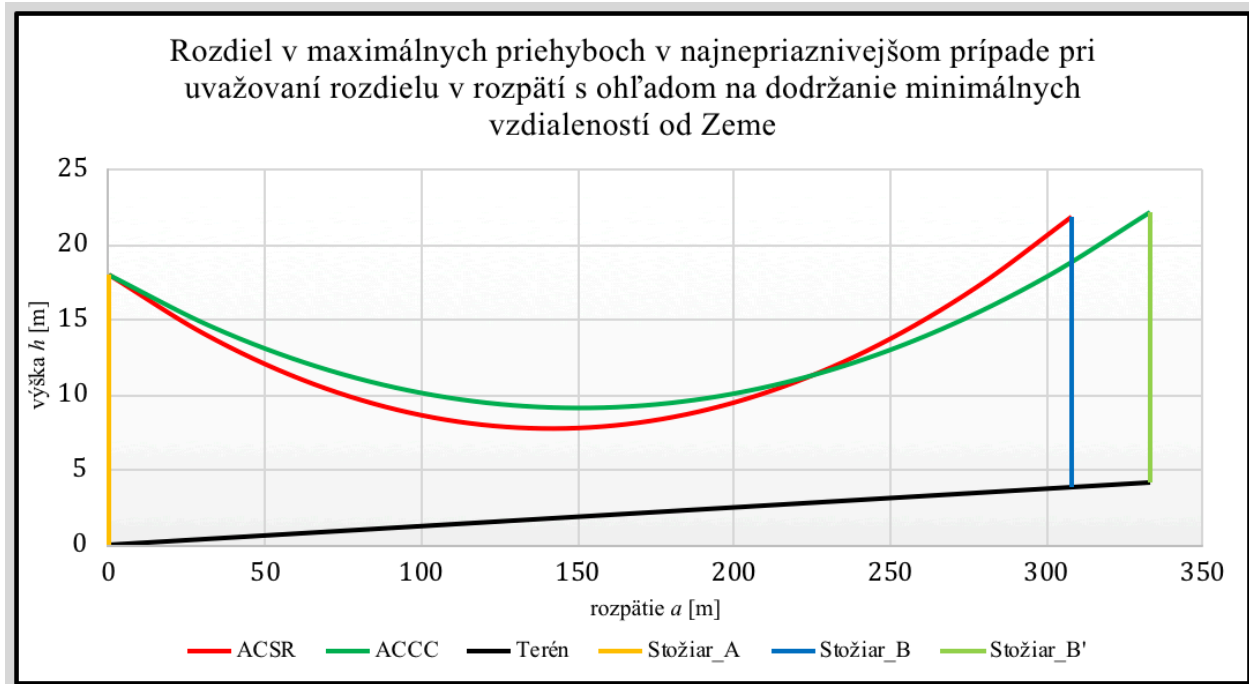
Pre typ vodičov ACCC by bolo možné použiť pri zachovaní rovnakých minimálnych vzdialeností vodiča od terénu v najnepriaznivejšom zaťažovacom stave len 11 nosných stožiarov a tým pádom 12 rozpätí v danom úseku. To je dané lepšími mechanickými vlastnosťami vodičov typu ACCC a rovnako tak nižšou váhou na jednotku dĺžky.

Pre oba typy vodičov vychádza v tomto konkrétnom prípade ako najnepriaznivejší zaťažovací stav -5°C a námraza. Hodnota kritickej teploty je v prípade vodiča typu ACSR na úrovni 43°C , kým pri vodiči typu ACCC až na úrovni nad 300°C . Aj tu je možné vidieť, že vodič typu ACCC je teplotne odolný a najhoršie zaťažovacie stavy tvorí práve dodatočné zaťaženie vo forme vetra alebo námrazy.



Obrázok 10-5 Zobrazenie rozloženia rozpätí v kotevnom úseku pre ACCC

Následne prejdeme do časti výpočtu mechanických parametrov, kde si bližšie špecifikujeme hodnoty jedného rozpätia v dĺžke podľa rozloženia rozpätí v kotevnom úseku. Konkrétne si vyšpecifikujeme dva prípady. Prvý je pri vyššie spomínanej rozdielnej dĺžke rozpätí. Priehyby vodičov v jednom poli je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.

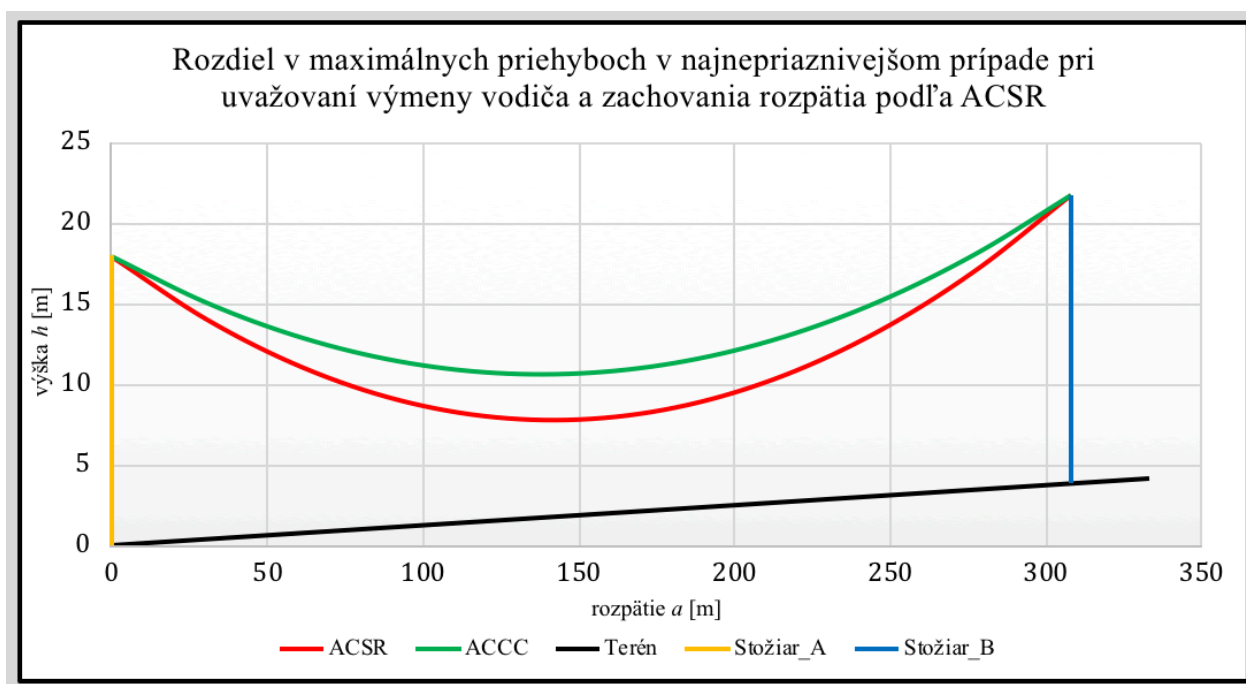


Obrázok 10-6 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli pri rozdielnych dĺžkach rozpätia

Hodnota dĺžky rozpätia pre vodič typu ACSR je 307,7 m, kým pre vodič typu ACCC je to 333,3 m. Môžeme teda konštatovať, že pri zachovaní minimálnych vzdialeností od terénu pri najnepriaznivejšom stave zaťaženia sme schopní získať v tomto konkrétnom zadaní o viac ako

25 m dlhšie rozpätie na 300 m dĺžky. Na 4000 m zadanom kotevnom úseku to už teda vo výsledku znamená použitie menej nosných podperných bodov o 1 ks. Namáhanie v bode A a B je nižšie v prípade varianty ACSR, no je to dané jednak dĺžkou rozpätia a rovnako tak nižším horizontálnym namáhaním. V podpernom bode A, ktorý je nižšie položený ide o hodnotu pre variant ACSR 101,5 MPa, kým pre variant ACCC o 110,7 MPa. V podpernom bode B, sú to hodnoty pre typ ACSR 104,3 MPa, pre typ ACCC 115,4 MPa. Najnepriaznivejší prípad namáhania podperných bodov však nastane v prípade najnižšej teploty okolia, kedy je táto hodnota pre podperný bod A 165 MPa pre variantu ACSR, no 157,4 MPa pre vodič ACCC. Pre podperný bod B to je vyššie číslo na základe rozdielnej výšky medzi podpernými bodmi, teda pre ACSR 263,1 MPa, pre ACCC 240,1 MPa. Aj napriek dlhšiemu rozpätiu variantu ACCC je maximálny priehyb v tomto prípade menší. Rozdiel je 1,1 m, je to dané lepšimi mechanickými vlastnosťami a vyšším horizontálnym namáhaním, ktoré bolo v prípade ACCC na úrovni 100 MPa, kým pri ACSR 94 MPa. Tieto hodnoty boli volené na základe predchádzajúcich skúseností a praxe s ohľadom na maximálne dosiahnuteľné mechanické hodnoty horizontálneho namáhania na medzi únosnosti.

Ďalším porovnaním bude prípad so zachovaním dĺžky rozpätia ako pri variante ACSR, čo znamená hodnotu 307,7 m. Je to prípad výmeny vodičov bez výmeny podperných bodov, ktoré zostávajú zachované.



Obrázok 10-7 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli pri rovnakých dĺžkach rozpätia

Na predošlom obrázku môžeme vidieť, že v prípade ak by na zadanom kotevnom úseku v dĺžke 4000 m došlo k zachovaniu podperných bodov podľa variantu ACSR, tak by boli vlastnosti vodičov typu ACCC o poznanie lepšie ako vodiče typu ACSR. Rozdiel maximálneho priehybu medzi týmito dvoma vodičmi je takmer 3 m. Hodnoty namáhania v bode A a B sú rovnako vyššie v prípade použitia vodičov typu ACCC podobne ako v predošlom prípade. Musíme však brať do úvahy, či v danom rozpätí uvažujeme jeden z podperných bodov ako kotevný alebo ide o oba nosné. Je to z dôvodu uvažovania správnej výslednej hodnoty namáhania, kedy pri nosných podperných bodoch sa prejavuje len vertikálna zložka namáhania.

Pokračujeme porovnaním elektrických parametrov, kde takmer všetky hodnoty hovoria v prospech vodičov typu ACCC alebo sú jednotlivé hodnoty takmer rovnaké s malými rozdielmi.

Menovitý odpor vodiča typu ACCC je menší v každom prípade, okrem jedného, tam sa ale prejavuje viac ako dvojnásobná maximálna dovolená teplota vodiča. V prípade indukčnosti a kapacity vedenia zadaných parametrov sú hodnoty takmer rovnaké.

Menovitý odpor pri 20°C	$R_{20} =$	0,631	0,504	[Ω]
Menovitý odpor pri -30°C	$R_{-30} =$	0,505	0,403	[Ω]
Menovitý odpor pri -5°C	$R_{-5} =$	0,568	0,453	[Ω]
Menovitý odpor pri 40°C	$R_{40} =$	0,656	0,524	[Ω]
Menovitý odpor pri maximálnej dovolenej teplote vodiča	$R_{\max} =$	0,795	0,826	[Ω]

Obrázok 10-8 Hodnoty rezistancie vodiča zadaných parametrov

Menovitá indukčnosť	$L =$	5,148	5,149	[H]
---------------------	-------	-------	-------	-----

Obrázok 10-9 Hodnoty indukčnosti vodiča zadaných parametrov

Vzájomná kapacita	$C_v =$	1,514	1,510	[pF]
Kapacita voči zemi	$C_0 =$	4,464	4,460	[pF]
Prevádzková kapacita	$C_p =$	9,005	8,991	[pF]

Obrázok 10-10 Hodnoty kapacít vodiča zadaných parametrov

Hodnoty induktívnej reaktancie, konduktancie a kapacitnej susceptancie sa neprejavia v tak rapidných rozdieloch, pretože celková dĺžka úseku vodičov je príliš nízka na nejaké markantné rozdiely.

Ďalej si môžeme porovnať hodnoty strát činného výkonu v časovom horizonte 1 rok, kde je vidieť takmer štvornásobne vyššie hodnoty pre typ vodiča ACCC oproti ACSR. Samozrejme musíme brať do úvahy oveľa vyššiu maximálnu teplotu (180°C oproti 85°C) a viac ako dvojnásobne vyšší prenášaný prúd vodičom.

Straty činného výkonu za rok pri max. zaťažení za rok	$P_{\max} =$	1234,5	7709,2	[MWh]
Straty činného výkonu za rok pri 75% zaťažení za rok	$P_{75} =$	551,1	2644,2	[MWh]
Straty činného výkonu za rok pri 50% zaťažení za rok	$P_{50} =$	244,9	1175,2	[MWh]

Keďže vodiče typu ACCC rovnakého alebo podobného priemeru ako vodiče typu ACSR majú lepšie prenosové vlastnosti, čo sa týka prúdového zaťaženia, prepočítali sme si straty činného výkonu pri zaťažení vodiča ACCC maximálnym prúdom vodiča ACSR, kde bolo zistené, že hodnoty strát sú o 20 % lepšie v prípade vodiča ACCC.

V ekonomickej časti porovnania dvoch variant vodičov môžeme rovnako ako pri posúdení mechanických vlastností popísať dva stavy. Prvým je situácia výstavby nového vedenia, kedy sa do tabuľky jednotlivých pomerových nákladov načítajú množstvá jednotlivých položiek podľa rozloženia rozpätí v tomto stave s presným počtom podperných bodov a s tým súvisiacich položiek. Ide celkovo o 14 podperných bodov, z toho 12 nosných a dva podperné. Porovnanie súčtu pomerných nákladov je uvedené na nasledujúcom obrázku.

Čiastková pomerová cena vo variante ACSR	91,5880
Čiastková pomerová cena vo variante ACCC	94,4263
Percentuálny rozdiel	3,10

Obrázok 10-11 Porovnanie pomerových cien varianty ACSR a ACCC pri novom vedení

Z týchto hodnôt je zrejmé, že pri výstavbe nového vedenia vo variante ACCC bude tento variant o cca 3 % drahší aj napriek tomu, že v kotevnom úseku bude menej podperných bodov. Tieto výsledky sú generované na základe špecifického zadania a nie vždy musí byť variant ACCC drahší. V tomto prípade však ani rozdiel jedného podperného bodu nevyváži pomerovú cenu vodičov ACCC a príslušenstva k nim.

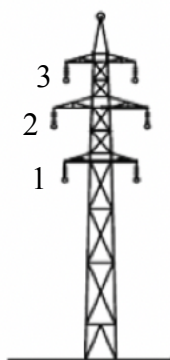
V prípade ak uvažujeme zachovanie rozloženia podperných bodov podľa vodiča ACSR, tak sa cenový rozdiel variantu s vodičmi ACCC prejaví ešte viac a pomerný cenový rozdiel bude markantnejší.

Čiastková pomerová cena vo variante ACSR	26,7688
Čiastková pomerová cena vo variante ACCC	36,3429
Percentuálny rozdiel	35,77

Obrázok 10-12 Porovnanie pomerových cien varianty ACSR a ACCC pri výmene vodičov

10.2 Porovnanie vodičov podobného prúdového zaťaženia

Súčasťou zadania práce je aj porovnanie vodičov dvoch porovnávaných technológií s podobnými hodnotami prúdového zaťaženia. Vzhľadom však na oveľa väčšie hodnoty prúdového zaťaženia vodičov ACCC oproti ACSR je obtiažne nájsť dva vodiče, ktoré by sa týmito hodnotami aspoň približovali. Pre tento prípad sme napokon zvolili vodič z modelovej rady ACCC s označením „Jaipur“, a z modelovej rady vodičov ACSR typ 490-AL1/64-ST1A. Rozdiel v priemere týchto vodičov však činí takmer 15 mm, čo je skoro celý priemer vodiča typu „Jaipur“.



Obrázok 10-13 Zvolený stožiar pre porovnanie

Pre porovnanie sme zvolili podperný bod typu „Súdok“ s jednotlivými zadanými hodnotami výšok závesných bodov fázového vodiča podľa nasledujúceho obrázku.

Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča dolného radu	$h_{dr} =$	21,4	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča stredného radu	$h_{sr} =$	23,5	[m]
Zadajte výšku závesného bodu fázového vodiča horného radu	$h_{hr} =$	25,6	[m]
Zadajte dĺžku izolátorového závesu fázového vodiča	$h_{iz} =$	0,85	[m]

Obrázok 10-14 Zadané výšky závesných bodov vodičov

Pre toto porovnanie sme zvolili dĺžku kotevného rozpätia 3200 m s nulovým prevýšením terénu medzi dvomi kotevnými podpernými bodmi z dôvodu overenia správnej funkcie aj zobrazovaných rozpätí a ich výpočtu zobrazenia.

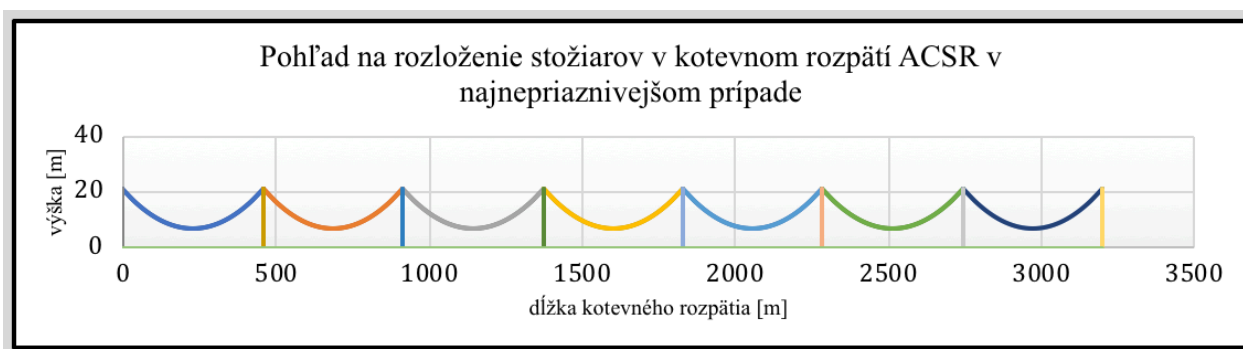
Jednotlivé zadané vzdialenosti vodičov od ďalších vodičov na stožiaroch sú uvedené na nasledujúcom obrázku.

Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 2	$d_{12} =$	2,16	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 1 od vodiča 3	$d_{13} =$	4,2	[m]
Zadajte vzdialenosť vodiča 2 od vodiča 3	$d_{23} =$	2,16	[m]

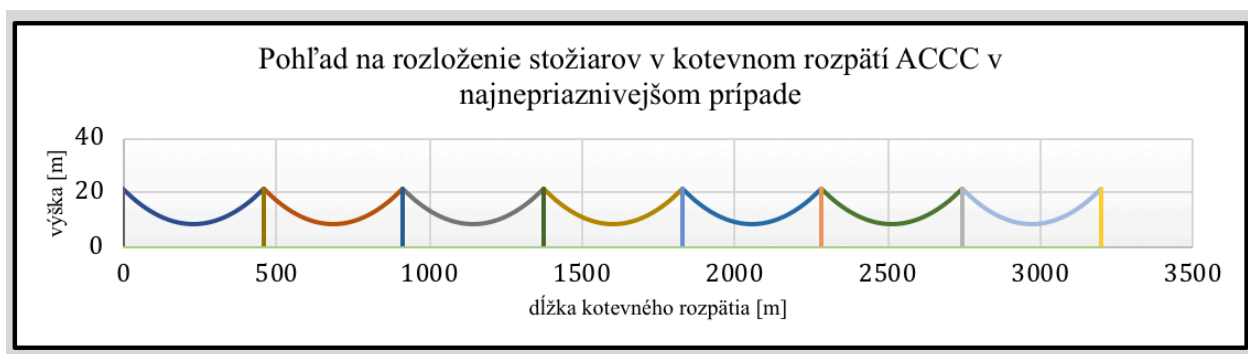
Obrázok 10-15 Rozmery medzi jednotlivými vodičmi na podpernom bode

Bola zvolená ako veterná oblasť tak aj kategória terénu II, námrazová oblasť N2 a úroveň spoľahlivosti číslo 1. Pomerné zaťaženie námrazou je rovné 2,311 pri vodiči typu ACSR, kým pri vodiči typu ACCC je to hodnota rovná 2,732 aj keď ide o vodič menšieho priemeru, čo je dané aj jeho váhou a ďalšími parametrami. Pomerné zaťaženie vetrom je rovnako ako aj pri predošlom prípade horšie pri vodiči typu ACCC z dôvodu rovnakých príčin. Kombinované pomerové zaťaženie je rovnako tak horšie v prípade vodičov ACCC a to z dôvodu prevládajúceho vplyvu hodnôt jednotlivých pomerných zaťažení, ktoré sú nepriaznivé pre vodič typu ACCC.

Pri voľbe jednotlivých rozpätí v kotevnom úseku v tomto prípade zadania dospejeme k výsledku rovnakého počtu podperných bodov v tomto rozpätí pre oba typy porovnávaných vodičov, ktorých je 8. Najnepriaznivejší prípad zaťaženia nastane pre vodič typu ACSR v stave 40°C, kým pri vodiči typu ACCC znova pri zaťažení námrazou pri teplote -5°C.



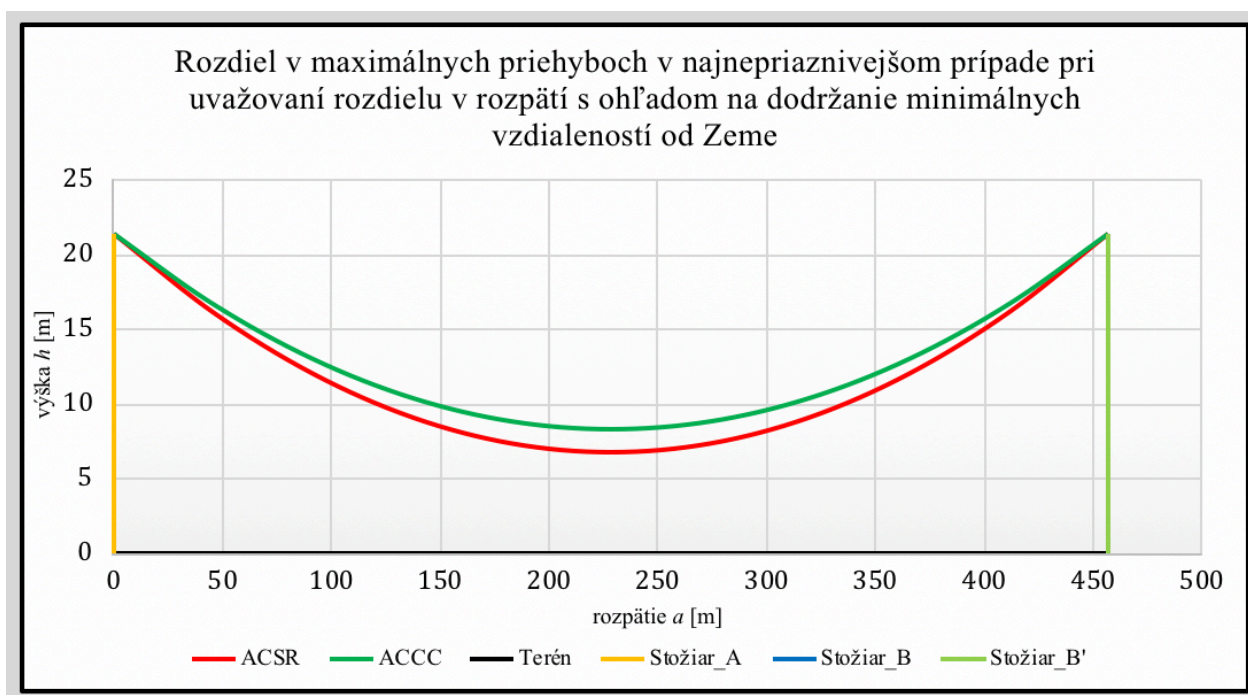
Obrázok 10-16 Zobrazenie rozpätí v kotevnom úseku vodiča ACSR



Obrázok 10-17 Zobrazenie rozpätí v kotevnom úseku vodiča ACSS

Keďže ide o prípad bez rozdielu výšok terénu medzi dvomi kotevnými podpornými bodmi, tak je aj namáhanie jednotlivých stožiarov rovnaké. Líšia sa len hodnoty na základe dvoch typov vodičov pri najhorších hodnotách priehybu, kde celkové namáhanie závesného bodu pre vodič ACSR je 233,4 MPa, kým pre vodič ACSS je to hodnota namáhania pri námraze a -5°C 154,7 MPa. No v stave, kedy pôsobí na vodič najväčšie pomerné skrátenie, a to pri najnižšej teplote okolia sa tieto hodnoty už takmer vyrovnávajú. Pre ACSR to bude 270,1 MPa, kým pre vodič typu ACSS 271,8 MPa.

V prípade rovnakého počtu podporných bodov je porovnanie dvoch rozpätí bezpredmetné, ak jedno je s rozdielnou dĺžkou pre dva typy vodičov a druhé je rovnaké, keďže sa tieto dve zobrazenia zhodujú. Na nasledujúcom obrázku preto udávame len jedno toto porovnanie.



Obrázok 10-18 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli

Hodnoty odporu vodiča sú asi 3-násobne väčšie pri vodiči typu ACSS, čo je spôsobené markantným rozdielom priemeru porovnávaných vodičov. Hodnoty kapacity vzájomnej, voči Zemi a prevádzkovej kapacity sú naopak nižšie pri vodiči typu ACSR.

Menovitý odpor pri 20°C	$R_{20} =$	0,189	0,573	[Ω]
Menovitý odpor pri -30°C	$R_{-30} =$	0,151	0,458	[Ω]
Menovitý odpor pri -5°C	$R_{-5} =$	0,170	0,515	[Ω]
Menovitý odpor pri 40°C	$R_{40} =$	0,204	0,619	[Ω]

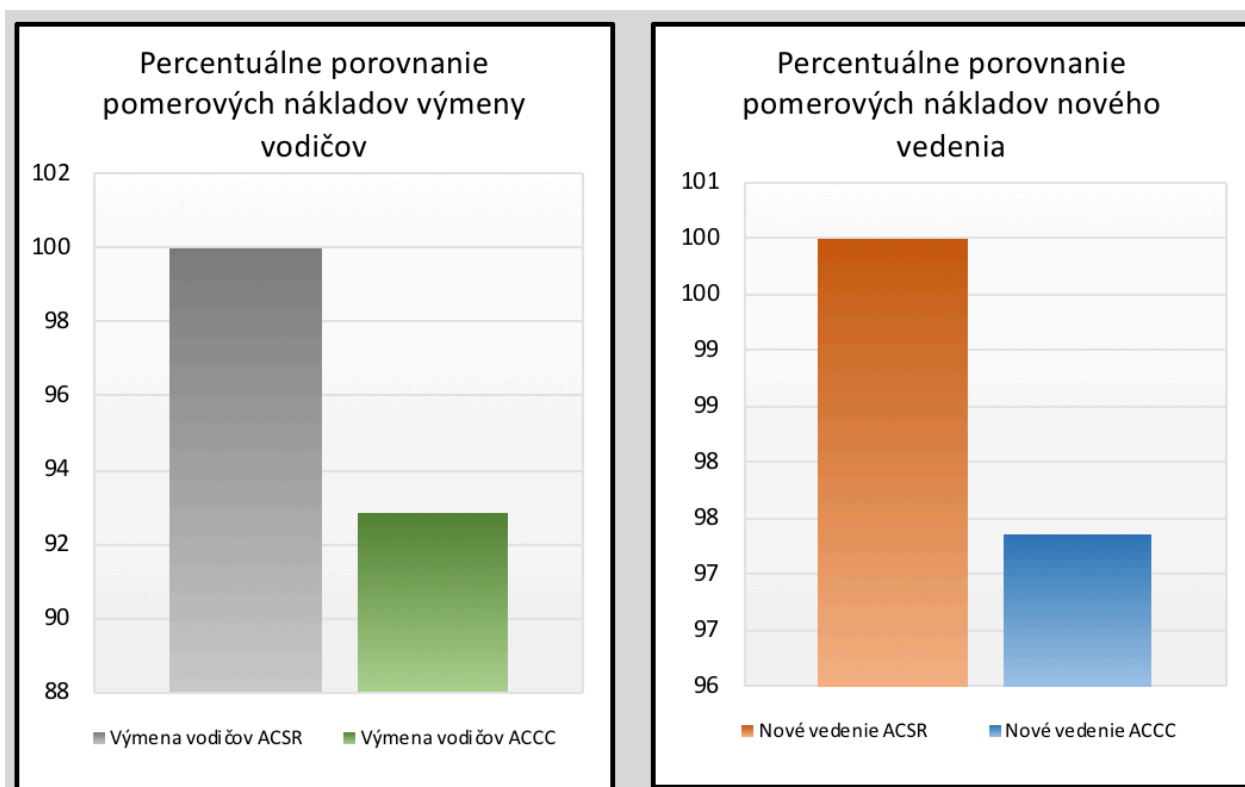
Obrázok 10-19 Hodnoty odporu dvoch vodičov s podobným prúdovým zaťažením

Vzájomná kapacita	$C_v =$	2,227	1,903	[pF]
Kapacita voči zemi	$C_0 =$	4,081	3,904	[pF]
Prevádzková kapacita	$C_p =$	10,762	9,613	[pF]

Obrázok 10-20 Hodnoty kapacít dvoch vodičov s podobným prúdovým zaťažením

Zaujímavé je však sa pozrieť na výsledky porovnania strát činného výkonu za rok. Tu dostávame pri zaťažení vodiča ACCC maximálnym zaťažením ACSR, ktoré sa tejto hodnote v tomto prípade takmer rovná, skoro 3-násobné straty pre vodič ACCC. Tento jav však ovplyvňujú práve zlepšené elektrické vlastnosti vodiča ACSR tohto priemeru.

V prípade ekonomického porovnania sú rozdiely medzi variantom ACSR a ACCC menšie jednak z toho dôvodu, že sa ani v jednom prípade nejedná o rozdielny počet podperných bodov v kotevnom rozpätí a jednak preto, že vodič typu ACCC polovičného priemeru je na približne rovnakej cenovej úrovni zvoleného vodiča ACSR. V oboch prípadoch aj nového vedenia aj výmeny vodičov je variant ACCC o málo lacnejší.



Obrázok 10-21 Porovnanie ekonomických parametrov

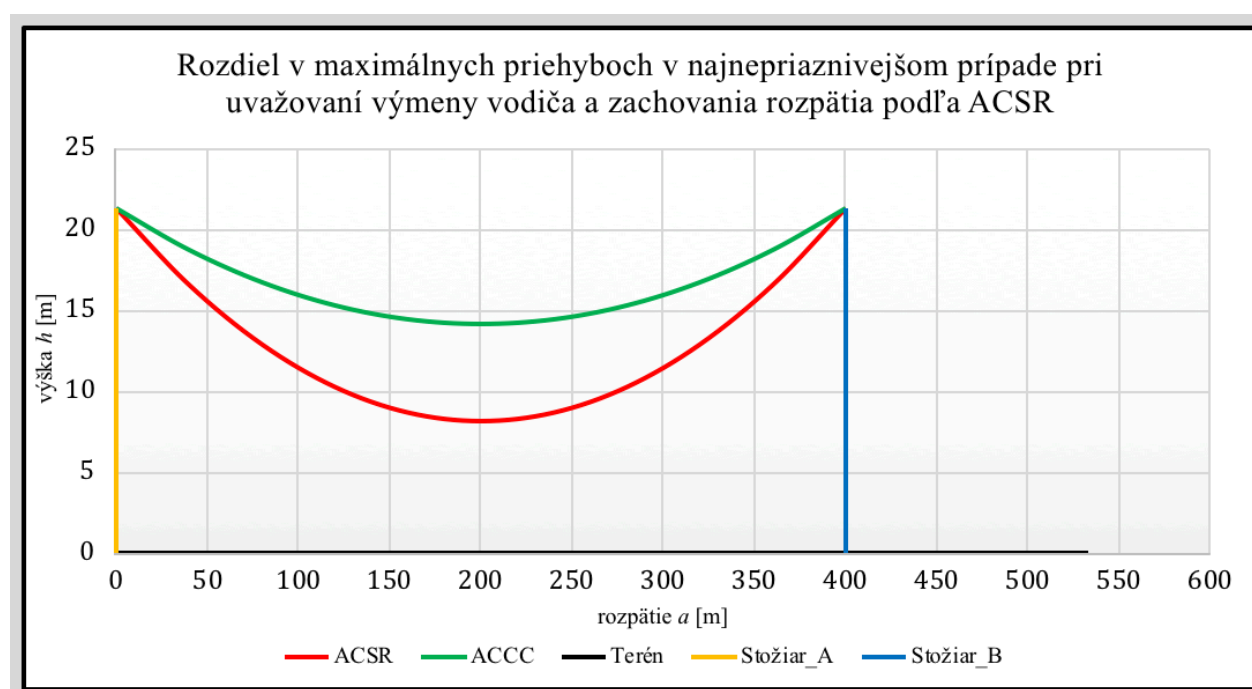
10.3 Porovnanie vodičov podobnej váhy

Pre rovnaké zadanie bude posledným prípadom porovnania výber dvoch vodičov rovnakej váhy na jednotku dĺžky. Toto porovnanie by malo mať výpovednú hodnotu v prípade výmeny

vodičov pri zachovaní kotevných bodov, preto si vyhodnotíme len tieto výsledky. Iné zadané hodnoty okrem výberu vodičov ostajú zachované podľa kapitoly 10.2. Vodiče pre porovnanie boli zvolené z modelovej rady typu ACSR 243-AL1/39-ST1A a z vodičov ACCC model s názvom „Oslo“.

Rozloženie nosných podperných bodov v kotevnom rozpätí budeme uvažovať podľa situácie s použitými vodičmi ACSR, keďže ide o simuláciu zachovania týchto podperných bodov. Celkovo by kotevný úsek o dĺžke 3200 m s nulovým prevýšením bol rozdelený na 8 rozpätí, to znamená, že by sa jednalo o 7 nosných podperných bodov a 2 kotevné podperné body.

V jednom rozpätí pri uvažovaní práve týchto vodičov by sme boli schopní dosiahnuť rozdiel v priehyboch až na úrovni 5 m, to znamená hodnota maximálneho priemeru pre ACSR 13,3 m, pre ACCC 7,2 m.



Obrázok 10-22 Zobrazenie dvoch priehybov v jednom poli

Pri porovnaní mechanického namáhania podperných bodov je zaujímavé, že pri stave dodatočného zaťaženia námrazou alebo pri maximálnej teplote okolia je hodnota namáhania väčšia, kým pri minimálnej teplote okolia, kedy je predpoklad najväčšieho namáhania podperných bodov sa hodnoty vyrovnávajú na úrovni 248 MPa ako pre vodič ACSR tak aj ACCC.

Na základe elektrických vlastností vodičov však použitím vodiča ACCC získame viac ako dvojnásobné maximálne prúdové zaťaženie vodiča (490 A oproti 1292 A). Zároveň sme schopní pri rovnakom prúde vodičmi znížiť straty činného výkonu vodiča o 25 %.

Takáto výmena s vylepšenými vlastnosťami však ekonomicky prináša o tretinu väčšie investície, celkovo o 34,66 % väčšie náklady. Na druhej strane treba však zhodnotiť aj druhý aspekt veci - aké hodnoty ušetríme pri prevádzke takého vedenia s menšími stratami a zvážiť všetky klady a zápory rozdielnych technológií.

11 ZÁVER

V tejto práci boli ozrejmene základne technické parametre jednotlivých typov vodičov na konkrétnych príkladoch. Ďalej bol opísaný historický vývoj prenosovej a distribučnej siete v Českej republike, podľa ktorého je vidieť kedy vznikala väčšina súčasnej infraštruktúry a aj jej približný vek, čo samo o sebe svedčí o potrebe postupnej rekonštrukcie alebo úplnej výmene jednotlivých komponentov.

Ďalej boli popísané jednotlivé problémové oblasti, ktoré sa spájajú s použitím vodičov ACCC a na ktoré je treba dbať. Tieto komplikácie boli zistené v priebehu vytvárania práce a na základe získavania nových skúseností a vedomostí z oblasti vodičov vonkajšieho vedenia.

Pre porovnanie vodičov bola vytvorená výpočtová aplikácia v programe Excel, ktorá slúži na porovnanie ako technických, tak aj ekonomických parametrov vodičov. Keďže je množstvo veličín k porovnaniu, tak sme sa v tejto práci vybrali cestou definície jednotlivých častí výpočtu, čím sa výsledok mohol zamerať na bližšie špecifikovaný prípad vedenia. Podstata výpočtu spočíva v definovaní dvoch vodičov k porovnaniu, kedy sa na základe výberu ďalších parametrov súvisiacich s dodatočným zaťažením alebo kotevným rozpätím určí maximálna dĺžka rozpätia v kotevnom úseku a na základe toho sa vyhodnocujú ďalšie výsledky.

Výsledkom je celkový prehľad jednak technických a tiež ekonomických parametrov ako pri výmene vodičov so zachovaním jednotlivých komponentov vedenia, tak aj pri výstavbe nového vedenia. Súčasťou textovej časti práce je aj kompletná metodika výpočtu použitého v elektronickej časti práce a prehľadný návod na obsluhu tohto výpočtu.

11.1 Zistenia

Jednotlivé rozdiely medzi dvomi typmi vodičov je možné vidieť už na prvý pohľad pri vzhliadnutí katalógového listu vodiča typu ACCC a ACSR. V krátkosti ide o lepšiu pevnosť, lepšiu prúdovú zaťažiteľnosť a nižšiu váhu na rovnaký priemer vodiča v prospech ACCC.

My sme sa však zamerali na použitie vodičov v konkrétnych príkladoch, na základe čoho sme dospeli k nasledujúcim výsledkom. Vodičmi ACCC môžeme dosiahnuť nezanedbateľne lepšie hodnoty maximálnych priehybov aj v tých najnepriaznivejších zaťažovacích stavoch. Vodiče ACCC dosahujú maximálny priehyb takmer v každom prípade pri dodatočnom zaťažení a priehyb pri maximálnej teplote je takmer vždy menší. Mechanické namáhanie na závesné body je väčšie pri vodiči ACCC, no pri minimálnej teplote okolia, kedy je hodnota namáhania najvyššia, sa už vyrovná hodnote pri použití vodiču ACSR. Použitím vodičov ACCC môžeme dosiahnuť v niektorých prípadoch väčšie rozpätia v kotevnom úseku, no nie je to pravidlom a niekedy sa dĺžky rozpätí zhodujú s vodičom ACSR. Rovnako tak straty činného výkonu na vodiči sú priaznivejšie pre ACCC, no nie v každom prípade, záleží na možnostiach použitia typu vodiča ACSR. Ekonomická náročnosť ako v prípade výmeny vodičov, tak aj pri novom vedení môže byť dokonca v prospech použitia vodičov ACCC, no záleží na presnej definícii vedenia.

V závere teda môžeme konštatovať, že vodiče ACCC prinášajú určité pozitíva, niekedy v každom smere a to technickom, aj ekonomickom, no stále ide o to aký je konkrétny príklad, projekt, zadanie. Práve na zhodnotenie rôznych okolností slúži nami vytvorený výpočtový skript.

11.2 Vylepšenia a iné využitie aplikácie

Samozrejme postupom času sa zrodilo niekoľko verzií vytvorenej aplikácie. Poslednou a aktuálnou je verzia č.12. Súčasná verzia obsahuje dostatočné možnosti výpočtu a kombinácii volieb. Je tu však niekoľko vylepšení, ktoré z časového hľadiska neboli v tejto práci realizované. Ide napríklad o doplnenie iných typov vodičov, kedy by porovnanie mohlo byť realizované napríklad aj medzi viac ako dvomi typmi vodičov.

Ďalším možným vylepšením je detailnejšia špecifikácia terénu, kde by bolo možné terén upraviť vo viacerých bodoch kotevného rozpätia a simulovať tak reálnejšie rozloženie podperných bodov. S tým by súviselo rozšírenie o doplnenie rozpätí rôznych dĺžok, kde by bolo možné zvoliť prioritné dĺžky niektorých rozpätí, na základe ktorých by boli dopyčované ostatné hodnoty.

Výpočet v aplikácii porovnania vodičov typu ACSR a ACCC sa dá okrem tohto porovnania využiť napríklad aj na jednotlivé výpočty prieťahov a namáhání, prípadne na porovnanie jedného typu vodiča pri rôznych hodnotách dodatočného zaťaženia a ďalšie.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] B2.13, Working Group. *Guidelines for increased utilization of existing Overhead Transmission Lines* [online]. Cigre, August 2008, s. 18-19 [cit. 2018-05-06]. ISBN 978-2-85873-040-7.
- [2] ING. GALETKA, PH.D., Martin. *Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie* [online]. 4.1.2016 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>
- [3] Schéma přenosové soustavy ČR [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/udaje-o-ps>
- [4] Schéma distribuční soustavy v působnosti ČEZ Distribuce, a.s. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/legacyerustaticdata/RZ2009/rz/mapy/11.htm>
- [5] *Brožura ČEZ Distribuce, a. s.* [online]. 2017 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/o-spolecnosti/cez_distribuce_brozura_web.pdf
- [6] *Základné info ČEZ Distribuce, a.s.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/informace-o-spolecnosti/zakladni-informace.html>
- [7] ING. PROCHÁZKA, Radek. *Venkovní vedení VVN (I): Úvod do problematiky přenosové soustavy* [online]. 21.5.2007 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4142-venkovni-vedeni-vvn-i>
- [8] PROF. ING. FECKO, DRSC., Štefan, Ján DOC. ING. ŽIARAN, CSC. a Ladislav DOC. ING. VARGA, CSC. *Elektrické siete: Vonkajšie silové vedenia*. SVŠT Bratislava, 1990. ISBN 80-227-0288-9.
- [9] *Global ACCC Hardware Suppliers and Part Numbers Database* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.ctcglobal.com/accc-hardware-suppliers-parts-database/>
- [10] ČSN EN 50341-1 ED. 2 (333300). *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace*. 2013.
- [11] ING. PROCHÁZKA, Radek. *Stožáry VVN (III): Konstrukční řešení stožárů* [online]. 18.6.2007 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4192-stozary-vvn-iii>
- [12] ALTUS, Juraj. *Prenos elektrickej energie*. Žilina: EDIS, 2004. ISBN 80-807-0343-4.
- [13] HODINKA, Miloslav. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-030-0065-3.
- [14] LIST, Vladimír a Karel POCHOP. *Mechanika venkovních vedení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955.
- [15] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001049402.
- [16] PNE 34 7509. *Holé vodiče pro venkovní vedení ze soustředně slaněných kruhových drátů*. 2007.
- [17] *Vysokokapacitné vodiče ACCC* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.odem-group.eu/obchodni-cinnost.php>

-
- [18] *CTC Global ACCC Conductors* [online]. [cit. 2018-05-06].
Dostupné z: <https://www.ctcglobal.com>
- [19] Prezentácia spoločnosti ODEM Group: Vysokokapacitné vodiče ACCC - CTC Global [online]. 2014 [cit. 2018-05-06].
- [20] DOC. ING. ORSÁGOVÁ, PH.D., Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení: elektronické skriptá* [online]. 2017 [cit. 2018-05-06].
Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/294382/mod_resource/content/1/MESV_S_2017_f.pdf
- [21] PNE 333301. Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně. 2016.
- [22] DOC. ING. BLAŽEK, CSC., Vladimír a Petr ING. SKALA. *Distribuce elektrické energie: elektronické skriptá* [online]. [cit. 2018-05-06].
Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/mod/resource/view.php?id=72003>

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A – obsah CD

Prílohy tejto práce sú umiestnené na priloženom CD na zadnej strane diplomovej práce.

Zoznam súborov na CD:

- Program_v12.xlsm	Základná časť programu podľa návodu
- Program_v12_rovn_priemer.xlsm	Porovnanie vodičov na základe priemeru
- Program_v12_rovn_prud.xlsm	Porovnanie vodičov na základe prúdu
- Program_v12_rovn_hmot.xlsm	Porovnanie vodičov na základe hmotnosti